

169077

—TM-6/
2048

中国电力百科全书

电工技术基础卷

中国电力出版社

(京)新登字 318 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国电力百科全书: 电工技术基础卷/《中国电力百科全书》编辑委员会, 中国电力出版社《中国电力百科全书》编辑部编. -北京: 中国电力出版社, 1995

ISBN 7-80125-004-4

I. 中… II. ①中… ②中… III. ①电力工业-百科全书 ②电工-理论-百科全书 IV. ①TH-1 ②TM1-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 05622 号

中国电力出版社出版、发行 (北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)	各地新华书店经营
中国电力出版社信息处理与激光照排中心排版	北京市地质矿产局印刷厂印刷
1995 年 10 月第一版	1995 年 10 月北京第一次印刷
787×1092 毫米 16 开本	正文 29 印张 944 千字 彩图 1 印张
印数 0001—5000 册	定价 110.00 元

版权所有 翻印必究

《中国电力百科全书》

编辑委员会

名誉主任委员	史大桢				
主任委员	张凤祥				
第一副主任委员	毛鹤年				
常务副主任委员	沈根才				
副主任委员	陆延昌	都兴有	温克昌	梁益华	陈秉堃
秘书长	贺至刚	程忠智			
常务领导小组成员	张凤祥	毛鹤年	沈根才	陆延昌	都兴有
	温克昌	梁益华	陈秉堃	贺至刚	程忠智
委 员	(按姓氏笔画排列)				
	于 渤	王梅义	王瑞梁	毛鹤年	邓致遠
	邓耀群	冯俊凯	吕克大	吕应中	伍宏中
	刘于玉	刘纫苴	李博之	杨德晔	连培生
	肖达川	肖国泉	吴竞昌	沈济源	沈根才
	宋春生	张凤祥	张德平	陆延昌	陈允康
	陈秉堃	陈维敬	姜绍俊	贺至刚	袁 颖
	都兴有	顾嘉秉	徐士珩	徐国璋	徐博文
	梁益华	董希文	董育坚	韩承钧	韩禎祥
	程忠智	温克昌	谭昌铭	戴熙杰	

主 编 毛鹤年 沈根才

常务编委 (按姓氏笔画排列)

毛鹤年 邓致远 杨德晔 肖达川 吴竞昌

沈根才 张凤祥 陆延昌 陈秉堃 陈维敬

贺至刚 都兴有 顾嘉秉 徐国璋 徐博文

梁益华 程忠智 温克昌

顾问 金常政

编委会办公室

主任 程忠智 (兼)

副主任 姜求志 张玉诸 高体基 朱百祥

电工技术基础卷编审委员会

主 编 肖达川
副 主 编 刘子玉 于 渤 陈允康
编审领导小组 肖达川 刘子玉 于 渤 陈允康 张玉诸
编 委 (按姓氏笔画排序)
于 渤 叶德璇 朱德恒 刘子玉 肖达川
吴南屏 陈允康 陈昌渔 陈增武 何金茂
张玉诸 张德馨 唐统一 谈克雄 蒋静坪
特 约 编 委 王明俊 李启盛 袁季修 姜咸宁

各分支主编、副主编、编审组成员

电工基础分支

主 编 陈允康 (兼)
编审组成员 肖达川 (兼) 李瀚荪 马信山

电子技术基础分支

主 编 何金茂
副 主 编 叶德璇
编审组成员 林雪亮 张志清

电磁测量分支

主 编 唐统一
副 主 编 谈克雄

电工材料分支

主 编 刘子玉 (兼) 吴南屏
编审组成员 刘耀南 赵富鑫 吴伯诗

高电压技术基础分支

主 编 朱德恒
副 主 编 陈昌渔
编审组成员 张仁豫 谈克雄

自动控制理论分支

主 编 于 渤 (兼)
副 主 编 蒋静坪
编审组成员 顾锦汶

电子计算机分支

主 编 张德馨
副 主 编 陈增武
编审组成员 汤于瀛

前 言

经过7年的反复锤炼,《中国电力百科全书》终于脱稿付印,陆续出版了!这是1700多位专家,以高度的政治责任感和历史责任感辛勤耕耘、反复切磋的成果。参加这部百科全书编纂工作的同志大部分是电业部门的专家和著名大学的教授,也有很多电机制造部门的专家,用电电器研究方面的专家,核工业专家,能源专家,环境保护专家等等;他们是各个专业方面的权威人士,大都年事已高,仍不遗余力地以自己毕生的经验,参照大量的国际资料,字斟句酌地推敲每一个条目的释文;他们以满腔热情,努力争取时间,完成了5000多个条目、1000多万字的撰写、审阅、修改工作;在编写过程中有的老专家废寝忘食、带病工作,有的已经谢世。我们以十分崇敬和感激的心情向为本书工作过的专家们致以崇高的敬礼!

《中国电力百科全书》是于1986年8月由原水利电力部科技司、中国电机工程学会、中国水力发电工程学会、原水利电力出版社共同倡议,经原水利电力部部长批准,着手组织编纂的。1987年8月,在北京召开了编辑委员会成立大会,初步确定了分卷方案和条题框架,聘请各卷主编和各分支主编。之后,几经修改,拟定了各卷的条题总表,聘请了撰写和审阅的专家,于1989年着手撰写,先后经过分支的一审、修改,分卷的二审、修改,编委会常务领导小组组织的终审,再由分卷修改正式定稿。

编纂《中国电力百科全书》的目的,在倡议报告中已经指明,是“为了总结我国电力工业生产、建设的经验,介绍当代电力工业最新科学技术成就,迎接电力工业更大规模的发展,满足电力系统广大职工的需要。”当前,我们正在建设规模宏伟的现代化的电力工业,我们正在深入改革开放,经历从高度集中的计划经济到社会主义市场经济的变革,成百万的电业职工迫切需要学习新的技术和新的管理知识。同时,随着我国工农业现代化程度的提高,人民生活电气化程度的普及和提高,社会上对电力知识的需要也日益广泛。为此,本书的编纂,从格式到内容,均以满足电力科学技术人员、各级领导和管理人员、广大电业职工和大专院校电力类专业师生的需要为主,同时照顾到社会上广大读者的需要,力求深入浅出,使具有高中以上文化程度的人均可阅读。

《中国电力百科全书》是中国第一部全面介绍电力科学技术和知识的大型专业性百科全书。在编纂过程中,我们学习和借鉴了《中国大百科全书》的编纂经验,同时,也汲取了此前编纂的《中国水利百科全书》的经验。百科全

书要求表达人类成熟的知识，要求所表达的知识具有科学性、客观性和稳定性，亦即具有一定的权威性。为此，本书在条题名称的选定和条目释文的概念叙述方面，均力求符合当代国际电业界一般共有的认识，对于某些国内惯用的概念与国外流行的概念不一致的，均分别加以说明。考虑到篇幅浩大，读者所需要的专业内容不一，特将全书按专业分为既有联系又相对独立的8卷，即：综合、电工技术基础、电力系统、火力发电、水力发电、核能及新能源发电、输电与配电、用电。读者可购置全套8卷，也可购置其中任何一卷。每卷条目排印均按条目首字的汉语拼音顺序排列。为了便于读者按专业查找相关条目，在书首设有按专业知识分类的条目分类目录，在书尾设有3种检索系统，即条目汉字笔画索引、条目外文索引、内容索引。综合卷后还附有外国（国际）电力（能源）组织机构和学术团体译名对照表，以及中国电力工业大事年表。

为了记录近百年来，特别是中华人民共和国成立以来，为中国电业发展做出过重要贡献的人物，为中国电业发展培养了大量科技人才的优秀教师和学者，以及为中国电业的发展提供电力设备的电机、电器、动力设备制造部门的著名专家，共收录了3000多位人物的业绩，编纂了《中国电力人物志》，作为《中国电力百科全书》的附卷单独出版。

以上8卷和附卷中，条目释文中所载的史实和数据大都截止到1990年12月；对1990年12月之后国际时局的变化所引起国家的改变，均未作相应的修改。

本书的编纂和出版，是广大专家集体智慧的结晶和集体工作的成果，一个条目的释文往往经过多位专家多次修改才得以定稿，前后变动很大，甚至重新改写。但是，应该说明，没有第一稿的写出，也改不出最后一稿。所以，一个条目的写定，既是最后执笔者的成果，也是第一稿执笔者的成果。在反复修改过程中，专家们都不固执己见地热烈参与磋商讨论，务求循名责实，考虑全面，得出一个正确的概念，在这方面充分体现了他们对事业的政治责任感和对后代的历史责任感。电力方面的百科全书，在中国这是第一部，在国外，我们也未见先例。因此，尽管我们尽其可能地作了努力，但疏漏与错误之处还不可避免，我们诚恳地希望广大读者和专家给予批评和指正，以期本书再版时订正提高。

再一次向所有关心、支持和参与本书编纂出版的领导、专家、学者、编辑出版人员表示衷心的感谢！

《中国电力百科全书》编辑委员会
中国电力出版社《中国电力百科全书》编辑部

1994年6月

凡 例

一、编 排

1. 本书按专业知识领域分为综合、电工技术基础、电力系统、火力发电、水力发电、核能及新能源发电、输电与配电、用电等8卷出版。

2. 本书全部知识内容均以条目形式出现,因此条目既是本书的基本知识单元,也是基本寻检单元。

3. 本书条目按条目标题的汉语拼音字母顺序并辅以汉字笔画、起笔笔形顺序排列。同音时按汉字笔画由少到多的顺序排列,笔画数相同的按起笔笔形——一(横)、丨(竖)、丿(撇)、丶(点)、㇇(折,包括乚、く等)的顺序排列。第一字相同时,按第二字,余类推。条目标题以罗马数字、阿拉伯数字、拉丁字母、斯拉夫字母和希腊字母开头的,按习惯发音依次排在汉语拼音相应字母部的前部。

4. 各卷在条目分类目录之前均有一篇序言,序言内容包括该卷所涉专业领域的基本概念、内容范围、历史发展和现状、与其他各卷的关系、在电力工业中的作用,以及本卷知识体系的介绍和其他有关内容,以帮助读者对本卷有概略而全面的了解。

5. 各卷均列有该卷全部条目的分类目录,以便读者了解该卷内容全貌和查检有关条目。分类目录还反映出条目间的层次关系,例如:

电磁场

 静电场

 电场强度

 电荷

 磁场

 磁感应强度

 磁场强度

6. 为丁保持知识体系的完整性和便于读者查阅,对卷间交叉的知识主题,在不同卷中设有同名条目,内容或完全相同,或根据各该卷特点有所侧重。

二、条 目 标 题

7. 条目标题有的为单一的词或词组,例如“电位”、“电流”、“电位移”,也有复合的词或词组,例如“动态电路分析”、“汉字信息处理”。

8. 条目标题上方加注汉语拼音,条目标题后括号内附对应外文,例如:

ranliao dianchi

燃料电池 (fuel cell)

个别无通用译名的纯属中国内容的条目标题则不附外文。

三、释 文

9. 本书条目的释文使用规范化的现代汉语书面语言。条目释文开始一般不重复条目标题。

10. 较长条目设置释文内标题。标题层次较多的条目，在释文前列有本条释文内标题的目录。

11. 一个条目的内容涉及其他条目并需由其他条目的释文补充的，采用参见的方式。所参见的条目标题在本条释文中出现的，用楷体字排印，例如“为减少两表面之间的辐射换热而在其间插入的薄板。”所参见的条目标题未在本条释文出现的，另用括号加“见”标出，例如“（见交流电桥）”。

12. 条目释文中出现的外国人名，第一次出现时在姓（汉译）前均加有外文名字的缩写（即名字的第一个字母），并在括号内附对应外文，例如 I. 牛顿（Isaac Newton 或 I. Newton）；外国地名一般不附外文，个别生僻无标准译名的则在第一次出现时用括号附原文。

四、插 图

13. 本书在条目释文中配有必要插图。

14. 彩图汇编成插页，文前附有彩图插页目录。彩图与释文相呼应者，在图名后注“（参见条目××××）”，并在相关条目释文中注“（参见彩图插页第××页××图）”。

五、参 考 书 目

15. 部分条目释文后附有参考书目，供读者选读。

六、索 引

16. 本书各卷均附有该卷全部条目的汉字笔画索引、外文索引和内容索引。

七、其 他

17. 本书所用科技名词术语以各学科有关部门审定的为准，未经审定和尚未统一的，从习惯。地名以中国地名委员会审定的为准。

18. 本书所用汉字除必须用繁体字的以外，一律用《简化字总表》所列的简化字。

19. 本书中数字的使用，均按1987年1月1日国家语言文字工作委员会等部门公布的《关于出版物上数字用法的试行规定》执行。

20. 本书所用计量单位，除引用经验公式或涉及实验数据的精度难以改变，以及古代历史上所用的某些单位外，一律采用中华人民共和国法定计量单位。在表达量值时采用单位的国际符号。

目 录

前言

凡例

电工技术基础卷序言

条目分类目录

彩图插页目录

正文 1~401

条目汉字笔画索引 402

条目外文索引 (INDEX OF ARTICLES) 409

内容索引 417

电工技术基础卷序言

电工程(简称电工)发源于19世纪中叶。19世纪初,意大利物理学家A.伏打(Alessandro Volta, 1745~1827)发明了伏打电堆,即电池,第一次为物理学家提供了产生持续电流的电源,极大地促进了电磁学的发展。电磁现象的应用在电磁学理论的指导下也迅速发展。从1835年发明电报开始到20世纪初,电话、白炽灯、发电机、电动机、交流供电线路、电子管相继发明。工、商业获得了新的动力和通信手段,电力可以远距离输送,通信几乎可瞬间地完成:一个新的电的时代取代了蒸汽时代。1883年,恩格斯对1500~2000 V、57 km输电线路的建成给予了极高的评价,认为这实际上是一次巨大的电工技术革命。电工程子是诞生了。

电能是应用最普遍的、最大的二次能源。它渗透到各个产业部门和日常生活。经过近百年的发展,由于电工材料工业、电机电器制造工业和电力系统自身技术的不断进步,现在大电力系统的电压高达500~765 kV,覆盖面积达1000多km²,形成一个复杂的大系统。随着自动控制理论、计算机技术的进展,电力系统管理技术正向以计算机网络为标志的综合调度自动化方向发展。

早期的电工一词,既包括电机电器制造、电力的产生和传输等方面(习惯上称强电技术),又包括通信、电子技术等方面(习惯上称弱电技术)。约在第二次世界大战结束以前,中国称电工程为电机工程。二次大战以后,电子技术有着划时代的进步,它的一些标志为:1946年制成第一台电子计算机(计算机现已成为一门学科),1947年制造出晶体管,1959年出现了集成电路。电工一词乃逐渐演变为只包括强电技术,而弱电技术则由电子工程一词概括。这表明上述两门技术都已进步到必须作出新的学科划分来容纳它们日益扩大的技术内涵。当然,二者也是相互渗透的,否则不会原来统一于一个学科之中。例如,直流输电的一次系统和电力系统的二次回路,就广泛应用了电子技术。至于二者的技术基础,更有着许多共同的部分。如前所述,随着电力系统的信息和控制的进步,自动控制理论和计算机技术的一些基本内容,也顺理成章地成为电工学的基础之一。为了给电力工作者提供必要的电工技术基础知识,把有关的基础知识编纂成《中国电力百科全书》电工技术基础卷。本卷由电工基础、电子技术基础、电磁测量、电工材料、高电压技术基础、自动控制理论和电子计算机七部分组成。至于电机学的有关内容,从《中国电力百科全书》的整体设计考虑,发电机原理在火力发电卷和水力发电卷中介绍,变压器原理在输配电卷中介绍,电动机原理在用电卷中介绍,这样安排对读者检索较方便。因此本卷未含电机原理内容。

电工基础 包括电磁场理论和电路理论两部分。电磁场理论揭示出宏观电磁现象的基本规律,即电磁场的分布、联系和变化的规律。诸如输电线路的参数计算、电机电器的电磁设计、半导体器件中物理过程的阐释、电磁干扰的本源和抑制等,都要用到电磁场理论。电路理论则是以电路模型作为对象,研究其中电磁过程的基本规律和分析方法。用电路模型反映电工设备和电子器件的电磁本质,是工程上广泛采用的一种研究方法。例如电力系统的潮流计算和稳定性分析、电子电路的分析和设计等,都采用电路模型的分析方法。

电子技术基础 20世纪50年代以前,电子技术的核心器件是电子管。现在,半导体器件已占统治地位。半导体器件加上其他电路元件,可以构成具有各种功能的电子电路,在直流输电、

电动机调速、通信、控制、测量、计算机等方面得到极广泛的应用。电子电路分为模拟电子电路和数字电子电路两大类。模拟电子电路中处理的是随时间连续变化的电压、电流等量。整流电路、放大电路等属于模拟电子电路。数字电子电路中的输入输出电压通常是高电平或者是低电平。它们可分别代表 2 进制数中的数字“1”和“0”和逻辑代数中的“真”和“伪”。利用高、低电平的相互转化，数字电子电路能实现数字运算和逻辑运算功能。逻辑门电路、触发器等属于数字电路。许多数字电子电路和模拟电子电路已制成集成电路。

电磁测量 包括测量仪表和测量方法两部分，测量对象是电学量和磁学量。从 19 世纪初开始，电磁测量是和电磁学同步发展、相互促进的，因为后者的发展离不开科学实验，特别是定量的实验。电磁效应的广泛应用，更促进电磁测量发展，并且要求测量仪表的生产实现工业化。19 世纪末到 20 世纪初，常用电表如电流表、电压表、电能表等，较量仪器如电桥、电位差计等，测磁仪器如磁通表、爱泼斯坦仪等，都已陆续制成工业产品。到 20 世纪 50 年代，经典电磁测量已形成了较完善的科学体系。1952 年，第一台数字电压表问世，随后数字电表迅速发展。数字电表具有准确度高、速度快、便于和计算机连接进行智能化测量等突出优点，成为电磁测量的一个重要发展方向。

电工材料 电工材料是指电工设备中使用的承受电磁场的作用、具有一定有效功能、能保证设备正常运行的材料，它是设备制造的物质基础。电工材料按其性质和功能可分为绝缘材料、导电材料、半导体材料和磁性材料。电工材料范围广泛，不同部类属于不同学科而各有其自己的理论基础，制造工艺也迥然不同。电工设备性能决定于材料的性质和设备结构上的完善性。近年来，随着材料科学及其工业的发展，电工材料不断出现性能更为优异的新品种，例如绝缘材料中的六氟化硫、半导体材料中的砷化镓等。电工材料的更新必将导致设备的改革，并产生巨大的经济效益。

高电压技术基础 随着电力系统容量的不断扩大，输电距离的不断增加，电力系统的输电电压也越来越高。由于电力系统外部或内部的原因，还可能短时地出现高出正常运行电压的各种过电压。在极高电压下，电力设备的绝缘将发生破坏而失去绝缘作用。高电压技术就是为了解决这一对矛盾而发展起来的电工技术。高电压、大电流下实验技术十分复杂，从而也成为高电压技术中的一个重要组成部分。高电压技术研究的主要内容有：电介质的电气物理性能，特别是击穿过程及其机理；解决电力设备绝缘问题的措施；电力系统过电压的限制和防护；高电压及大电流试验技术；电磁兼容等。高电压技术，作为研究高电压及大电流下物质中的物理现象及其应用的科学，现在除在电力工业中起重要作用外，在脉冲高功率技术、某些技术物理部门、冶金工业、环保工程等不同领域都有着广泛的应用。

自动控制理论 关于自动控制系统的构成、分析和设计的理论。自动控制系统，是在代替或部分代替人的直接参与下，使生产过程或其他过程按期望规律或预定过程进行的控制系统。自动控制理论有经典控制理论、现代控制理论和大系统理论。经典控制理论是采用传递函数和频率特性描述，研究单输入单输出控制系统的控制理论。1868 年发表了第一篇研究论文，20 世纪 40~50 年代趋于成熟。现代控制理论是建立在状态空间法基础上的，可处理多变量、非线性、时变、非确定性等系统问题。20 世纪 60 年代形成的大系统理论是关于大系统的构成、分析和设计的理论（大系统是规模庞大、结构复杂、目标多样、影响因素众多，且常带有随机性的系统），20 世纪 80 年代形成。

电子计算机 即电子数字计算机，它是人类文明的一大成就。第一台电子数字计算机

ENIAC 于 1946 年建成,用了约 18000 个电子管,现在无例外地采用了大规模和超大规模集成电路。它是按程序自动处理信息的机器系统,广泛应用于科学计算、生产过程自动控制、数据处理、信息管理、图形图象处理、人工智能等方面,对各行各业甚至人的日常生活有着越来越大的影响。计算机由硬件系统和软件系统组成。硬件系统有中央处理、存储器、输入输出设备等,它是计算机赖以工作的物质基础。软件系统由程序及其文件组成。软件和硬件一起工作,使计算机完成给定的任务。

电工技术基础卷编审委员会

1994 年 4 月

条 目 分 类 目 录

说 明

一、本目录供分类查检条目之用。

二、有的条目有多种属性,可能在几个分支学科和分类中出现。例如“击穿试验”条既列入电工材料分支,又列入高电压技术基础分支。

三、参见条(虚条)的页码采取虚实条兼注的方式,即参见条页码在括号外,被参见条页码在括号内。

四、凡加有[]者,不是条目标题,而是分类集合的提示词。例如[电路分析]、[电路定理]。

电磁场	76
静电场	215
电场强度	72
电位	102
电荷	85
库仑定律	238
电位移	103
高斯通量定理(见电位移) ...	147(103)
拉普拉斯方程	242
静电感应	216
电容	97
恒定电场	168
电流	90
欧姆定律	263
电阻	111
电导(见电阻)	80(111)
电阻率	112
电导率(见电阻率)	80(112)
电动势	80
焦耳定律	203
磁场	52
磁感应强度	54
磁通量	60
毕奥-萨伐尔定律	11
磁场强度	52
安培环路定律(见磁场强度)	1(52)
左手定则(见磁场强度)	401(52)

磁标位	51
磁矢位	59
磁通势	60
磁路	56
磁位差	60
磁阻	62
磁导(见磁阻)	54(62)
磁导率	54
电感	80
磁链(见电感)	56(80)
时变电磁场	285
电磁感应	77
右手定则	368
楞次定律(见电磁感应)	243(77)
电压	105
位移电流	327
趋肤效应	272
电磁屏蔽	79
麦克斯韦方程组	251
坡印廷矢量	267
电磁波	73
电磁辐射	77
电学和磁学量单位制	104
安培	1
伏特	140
库仑	238
韦伯	327

麦克斯韦	251
特斯拉	311
高斯	147
奥斯特	1
欧姆	263
西门子	335
法拉	128
亨利	168
安培匝	1
瓦特	320
焦耳	203

[电路理论]

电路	92
激励	179
响应	341
电路元件	94
无源二端元件	332
电压源	106
电流源	92
受控源	288
开路	230
短路	119
理想变压器	245
基尔霍夫定律	178
直流	382
交流	199
正弦电流	379
频率(见正弦电流)	264(379)
赫兹	168
相位(见正弦电流)	345(379)
相量图	344
相量法	342
电抗	88
电纳(见电抗)	95(88)
阻抗	397
导纳(见阻抗)	69(397)
圆图	369
谐振	349
铁磁谐振电路	314

[三相电路]

三相电源	281
三相负载	282
相电压	341
线电压(见相电压)	337(341)
相电流	341
线电流(见相电流)	337(341)
不对称三相电路	26
对称三相电路	121
三相电路功率	280
对称分量法	119
旋转磁场	353
多相电源	124
非正弦周期电流电路	134
基波电流	178
谐波电流	347
频谱(见非正弦周期电流 电路)	266(134)
瞬时值	304
平均值	266
有效值	365
波形因数	24
总谐波畸变率	396
[电功率]	
平均功率	266
无功功率	331
功率因数	154
视在功率	287
复功率	142
谐波功率	348
畸变功率	178
伏安	139
乏	128
瓦特小时	320
[电路的基本连接和等效变换]	
串联	50
并联	22
星接阻抗和三角接阻抗的变换	352
电源的等效变换	107
[电路分析]	
支路电流法	380
回路法	171

节点法	204
表格法	21
网络图论	322
关联矩阵(见网络图论)	158(322)
基本回路矩阵(见网络图论)	177(322)
基本割集矩阵(见网络图论)	177(322)
网络流(见网络图论)	321(322)
[电路定理]	
叠加定理	113
特勒根定理	311
替代定理	311
互易定理	169
戴维南定理	67
诺顿定理(见戴维南定理)	262(67)
阻抗匹配	397
二端口	125
动态电路分析	115
暂态响应	374
稳态响应	329
零输入响应	247
零状态响应	247
阶跃响应	203
动态电路复频域分析	115
卷积	220
传输线	48
特性阻抗(见传输线)	311(48)
传播常数(见传输线)	46(48)
电子器件	109
双极型半导体器件	304
半导体二极管	4
半导体整流二极管	8
半导体开关二极管	6
硅稳压二极管	164
隧道二极管	308
单结晶体管	68
肖特基二极管	346
变容二极管	17
半导体三极管	6

功率晶体管	154
场效应半导体器件	35
结型场效应晶体管	204
绝缘栅场效应功率晶体管	224
绝缘栅场效应晶体管	222
光电半导体器件	160
发光二极管	127
光电二极管	160
光电三极管	161
电力电子器件	89
晶闸管	211
晶闸管触发电路	213
晶闸管保护电路	212
[其他电子器件]	
充气管	44
闸流管	375
引燃管	364
真空电子器件	375
电子管	109
阴极射线示波管	362
电子束管	110
微波电子管	325
霍耳器件	172
石英晶体(见晶体振荡器) ...	285(210)
压敏电阻器	354
电阻器	113
电位器	103
电容器	102
电感器(见电感和标准电感器)	83(80,18)
电子电路	108
放大电路	130
共射放大电路	157
共集放大电路	156
共基放大电路	156
场效应晶体管放大电路	35
功率放大电路	153
直流放大器	384
差动放大器	33
反馈放大器	129

正弦波振荡电路	379
RC 正弦波振荡器	273
LC 正弦波振荡器	241
晶体振荡器	210
集成电路	181
集成运算放大器	183
加法器	197
减法器	199
积分器	176
微分器	326
对数放大器	122
有源滤波器	365
开关电容滤波器	228
测量放大器	31
正弦波信号发生器(见 RC 正弦波振荡器)	378(273)
比较器	9
非正弦波信号发生器	133
模拟乘法器	253
四象限模拟乘法器	305
调制与解调电路	314
调制器	312
解调器	205
数字电路	299
门电路	252
与、或、非、异或门	368
逻辑函数	249
集成逻辑门电路	182
TTL 与非门	309
高阈值逻辑门	149
射极耦合逻辑门	283
PMOS 集成逻辑门	264
NMOS 集成逻辑门	257
CMOS 集成逻辑门	28
组合逻辑电路	398
多路选择器	123
多路分配器	123
编码器	12
译码器	361
可编程逻辑阵列	231
集成触发器	180

基本 RS 触发器	177
[时钟触发器]	
时钟 RS 触发器	287
D 触发器	64
JK 触发器	173
T 触发器	309
触发器转换电路	45
集成单稳态触发器	181
时序逻辑电路	287
移位寄存器	359
异步计数器	360
同步计数器	317
脉冲顺序分配器	251
整流电路	377
电容、电阻滤波整流电路	99
倍压整流电路	8
稳压电路	329
硅稳压管稳压电路	164
串联稳压电路	50
集成稳压块	182
开关稳压电路	229
[数模、模数转换器]	
数模转换器	297
模数转换器	255
电磁测量	74
[机械式指示电表]	
机械式指示电表测量机构	175
电流表	91
电压表	106
功率表	152
无功功率表	331
电表准确级别	71
万用表	320
高阻表	149
频率表	265
功率因数表	155
相序指示器	345
同步指示器	317
电工仪器仪表检定规程	84
晶体管电压表	209
检流计	197

冲击检流计(见检流计)	44(197)
振动检流计(见检流计) ...	377(197)
振子(见检流计)	377(197)
变换器式电表	14
整流式电表(见变换器式 电表)	378(14)
变换器式电压表(见变换器式 电表)	15(14)
变换器式功率因数表(见变换 器式电表)	16(14)
变换器式频率表(见变换器式 电表)	16(14)
变换器式功率表	15
[仪用互感器]	
仪用电压互感器	359
仪用电流互感器	358
直流电流互感器	383
互感器校验仪	169
电能表	95
复费率电能表	142
最大需量表	398
无功电能表	330
直流电能表	383
标准电能表	18
电能表校验台	96
[记录仪表]	
自动平衡式记录仪	395
直接驱动式记录仪	381
x-y 记录仪	335
[示波器]	
阴极射线示波器	363
光线示波器	162
[标准器及较量仪器]	
标准电池	17
标准电阻器	20
标准电容器	19
标准电感器	18
直流单比电桥	382
直流双比电桥	386
交流电桥	200
万用交流电桥(见交流	

电桥)	321(200)
麦克斯韦-维恩电桥(见交流 电桥)	251(200)
欧文电桥(见交流电桥) ...	263(200)
海氏电桥(见交流电桥) ...	165(200)
西林电桥(见交流电桥) ...	335(200)
谐振电桥(见交流电桥) ...	350(200)
直流电位差计	384
交流电位差计	202
[数字电表]	
数字电压表	300
交流数字电压表	202
数字频率表	301
数字万用表	302
数字相位表	303
数字功率表	300
数字微欧表	303
数字电能表	299
[电学量测量]	
电阻测量	111
电容测量	98
电感测量	82
功率测量	153
无功功率测量	332
功率因数测量	155
频率测量	265
相角测量	341
[谐波测量]	
谐波分析仪	348
谐波流向仪	348
谐波报警器	347
谐波电流表	347
负序电流表	142
[磁测量]	
静态磁性测量	216
动态磁性测量	114
磁通计	59
电工材料	83
导体	70
[导电机理]	

金属导电机理	207
超导电机理	36
导电材料	69
铜	318
铝	250
超导材料	35
电阻材料	111
计测电阻材料	185
调节电阻材料	312
发热电阻材料	128
薄膜电阻材料	8
[特殊电阻材料]	
应变电阻材料	364
湿敏电阻材料	284
测温电阻材料	32
磁敏电阻材料	57
电触头材料	72
熔体材料	277
钎焊材料	270
半导体	3
[半导体导电机理]	
载流子	373
禁带宽度	208
迁移率	270
载流子寿命	374
能带理论	261
[半导体材料]	
元素半导体材料	369
化合物半导体材料	170
氧化锌	356
碳化硅	309
砷化镓	284
硫化镉	248
非晶态半导体材料	132
电介质	85
电介质导电机理	86
电气绝缘性能	97
电介质极化	86
电偶极矩	96
电容率	100
分子极化率	138

自发极化	396
[电介质的电导]	
气体电介质的电导	268
液体电介质的电导	356
固体电介质的电导	157
介质损耗	206
复电容率	142
介电色散与吸收	206
松弛现象	305
柯尔-柯尔圆图	230
电介质老化	87
绝缘材料的长期耐热性	221
[绝缘材料电气性能试验]	
绝缘电阻率试验	221
电容率与损耗因数试验	100
击穿试验	173
耐电弧试验	260
耐电痕试验	259
耐电晕试验	260
局部放电试验	217
[电气绝缘材料]	
气体绝缘材料	268
空气	233
六氟化硫	249
液体绝缘材料	358
矿物绝缘油	239
合成绝缘油	167
无机固体绝缘材料	332
玻璃	24
电瓷	73
云母	370
高分子绝缘材料	147
热塑性塑料	275
橡胶	346
热固性塑料	273
纤维材料	335
复合材料	143
熔敷粉末材料	277
阻燃材料	397
耐高温材料	260
[功能材料]	

铁电材料	315	扩散	240
压电材料	354	复合	143
热释电材料	274	气体击穿理论	268
驻极体	390	汤森放电理论	310
磁体	59	自持放电条件(见汤森	
[磁化机理]		放电理论)	394(310)
磁矩	56	流注放电理论	247
磁导率	54	巴申定律	2
磁化率	55	电晕放电	107
磁滞回线	61	长空气间隙击穿	34
抗磁性	230	空气间隙击穿电压	233
顺磁性	304	50% 冲击放电电压	2
铁磁性	315	伏秒特性	140
反铁磁性	130	真空击穿	376
磁畴与畴壁	53	高压下气体击穿	148
磁致伸缩	61	负电性气体击穿	141
剩磁	284	沿面放电	355
磁滞损耗	62	沿污染电介质表面放电	355
涡流	329	大气校正因数	64
涡流损耗	330	海拔校正系数	165
磁性材料	61	液体电介质击穿	357
软磁材料	278	液体电介质电击穿	357
永磁材料	364	液体电介质气泡击穿	357
磁记录材料	55	液体电介质小桥击穿	358
磁记忆材料	56	面积效应(见液体电介质小桥	
[特殊磁材料]		击穿)	252(358)
磁屏蔽材料	58	体积效应(见液体电介质小桥	
磁补偿材料	51	击穿)	311(358)
无磁性钢铁材料	330	油中沿面放电	365
非晶态磁性材料	132	低温液体电介质击穿	70
磁致伸缩材料	61	固体电介质击穿	158
高电压技术	144	本征击穿	9
[气体介质击穿]		热击穿	274
激励	179	局部放电	217
电离	88	电化学击穿	85
碰撞电离(见电离)	264(88)	电介质老化	87
光电离(见电离)	161(88)	[高电压产生]	
热电离(见电离)	273(88)	工频试验变压器	152
负离子的形成	141	直流高电压发生器	385
阴极电子发射	362	串联谐振装置	50
		三倍频试验装置	280

冲击电压发生器	42
雷电冲击电压标准波形(见	
冲击电压发生器)	243(42)
操作冲击电压标准波形(见冲击	
电压发生器)	30(42)
冲击电流发生器	41
冲击电流标准波形(见冲击	
电流发生器)	41(41)
高电压测量	144
测量球隙	32
静电电压表	215
峰值电压表	139
分压器	137
电阻分压器(见分压器) ...	112(137)
电容分压器(见分压器) ...	100(137)
阻尼型分压器(见分	
压器)	397(137)
高压电子示波器	148
直流高电压测量(见高电压	
测量)	385(144)
交流高电压测量(见高电压	
测量)	202(144)
冲击高电压测量(见高电压	
测量)	44(144)
冲击大电流测量	41
分流器(见冲击大电流	
测量)	137(41)
罗戈夫斯基线圈(见冲击大	
电流测量)	249(41)
数字采集系统	298
电磁兼容	79
高电压绝缘试验	146
[绝缘电阻试验]	
泄漏电流试验	350
介质损耗角正切试验	207
局部放电试验	217
耐压试验	260
闪络试验	282
绝缘子干闪络试验(见闪络	
试验)	226(282)
绝缘子湿闪络试验(见闪络	

试验)	226(282)
绝缘子污秽放电试验	226
操作波感应耐压试验	29
交流电流激增点试验	200
气体绝缘金属封闭电器绝缘	
试验	269
绝缘诊断技术	224

自动控制理论	394
经典控制理论	209
[一般问题]	
控制系统	235
环节	170
开环系统(见控制	
系统)	230(235)
闭环系统(见控制	
系统)	11(235)
反馈控制(见控制	
系统)	130(235)
数学模型	298
传递函数	46
零点(见传递函数)	247(46)
极点(见传递函数)	179(46)
结构图	204
框图(见结构图)	239(204)
信号流图	350
控制作用	237
动态响应	118
冲激响应	44
稳态误差	328
线性控制系统	340
根轨迹法	150
频率响应法	266
伯德图	24
奈奎斯特图	257
尼科尔斯图	262
控制系统稳定性	237
劳思-赫尔维茨稳定判据	242
奈奎斯特稳定判据	258
相对稳定性	340
最小相位系统	400

控制系统设计与补偿	236
超前补偿	37
滞后补偿	386
滞后-超前补偿	387
非线性控制系统	133
描述函数法	252
相平面法	344
奇点(见相平面法)	268(344)
极限环(见相平面法) ...	179(344)
离散系统	243
采样和信号再现	28
Z 变换法	372
Z 传递函数	373
现代控制理论	336
状态空间法	393
状态空间表达式	391
规范型	163
传递函数矩阵	47
状态转移矩阵	393
时变系统	285
可控性	232
可观测性	231
李雅普诺夫方法	244
变量-梯度法	16
克拉索夫斯基方法	233
非线性系统的线性化方法	133
最优控制	400
变分法	13
极小值原理	179
动态规划	116
最短时间控制	398
线性二次型最优控制	338
线性二次型次优控制	338
状态反馈	391
输出反馈	289
极点配置	179
状态观测器	391
降阶观测器	199
欧拉-拉格朗日方程	263
黎卡提方程	244
哈密顿-雅可比-贝尔曼方程	165

随机控制理论	307
估计理论	157
预测(见卡尔曼滤波)	369(227)
滤波(见卡尔曼滤波)	250(227)
平滑(见卡尔曼滤波)	266(227)
卡尔曼滤波	227
随机最优控制	307
动态系统辨识	117
最小二乘估计	399
线性最小方差估计	340
最小方差估计	400
递推最小二乘估计	71
适应控制系统	288
自校正适应控制系统	396
模型参考适应控制系统	256
大系统理论	66
大系统建模	65
递阶控制	70
分散控制	137
计算机	185
[计算基础]	
数据结构	294
数据	292
数据类型	297
表结构	22
树结构	292
图结构	318
文卷	327
算法	306
二分搜索法	126
散列算法	282
分类算法	136
表查找算法	20
数学规划	298
快速傅里叶变换(FFT)	239
[数字逻辑]	
布尔代数	27
组合逻辑	397
时序逻辑	286
计算机硬件	196

[数制和代码]

数据表示	293
代码	68
ASCII 码(见代码)	1(68)
EBCDIC 码(见代码)	125(68)
BCD 码(见代码)	2(68)
汉字国标码	165
指令系统	380
指令格式(见指令系统)	380(380)
寻址方式(见指令系统)	353(380)
中央处理器	389
运算器	370
控制器	234
中断系统	388
微处理器	326
单片微型计算机	69
存储系统	62
主存储器	390
辅助存储器	140
高速缓冲存储器	147
联想存储器	246
虚拟存储器	352
半导体存储器	4
随机存储器(见半导体存储器)	307(4)
只读存储器(见半导体存储器)	380(4)
输入输出系统	292
输入输出控制系统	291
输入输出设备控制器	291
输入输出处理机	290
通道	316
通信控制处理机	316
外围设备	320
磁带存储器	53
磁盘存储器	58
光盘存储器	162
输入设备	289
输出设备	289

终端设备	389
汉字输入输出设备	165
图形输入输出设备	318
计算机软件	192
程序	38
程序设计	38
程序设计语言	39
BASIC 语言(见程序设计语言)	2(39)
FORTRAN 语言(见程序设计语言)	127(39)
PASCAL 语言(见程序设计语言)	264(39)
C 语言(见程序设计语言)	28(39)
COBOL 语言(见程序设计语言)	28(39)
翻译程序	128
汇编程序	172
解释程序	205
编译程序	12
实用程序	287
编辑程序	11
连接装配程序	246
调试程序	312
操作系统	30
批处理系统(见操作系统)	264(30)
分时系统(见操作系统)	137(30)
实时系统(见操作系统)	287(30)
软件工程	278
网络软件	321
数据库系统	295
数据库语言	296
数据库管理系统	294
层次数据库	33
网状数据库	325
关系数据库	158
数据库系统保护	296
计算机系统结构	195
便携机	17

微型计算机	326	决策支持系统	220
工程工作站	151	办公自动化	2
小型计算机	346	情报检索	271
大型计算机	67	汉字信息处理	166
巨型计算机	219	模式识别	254
并行处理计算机系统	22	人工神经网络	275
计算机网络	194	人工智能	276
局域网	218	专家系统	390
分组交换公用数据网	138	机器人	174
开放系统互连	227	计算机图形学	193
计算机可靠性技术	192	数字图像处理	301
计算机系统安全与保密	195	计算机仿真	188
计算机病毒	187	计算机过程控制	190
数据保密技术	292	可编程控制器	231
计算机场地技术	187	计算机辅助设计	189
计算机应用	195	计算机辅助制造	189
科学计算	230	计算机辅助测试	188
管理信息系统	159	计算机集成制造系统	191

彩图插页目录

1. 三相输电线的电力线和等位线图 形(A)	1	35. 交流数字功率表	8
2. 三相输电线的电力线和等位线图 形(B)	1	36. 标准电阻	8
3. 安培	2	37. 数字电压表	8
4. 伏特	2	38. 标准电池	8
5. 法拉第	2	39. 谐波分析仪	8
6. 瓦特	2	40. 接地电阻表	8
7. 巨型晶闸管	3	41. 电力电缆	9
8. 大功率二极管	3	42. 通信电缆	9
9. 大功率晶闸管	3	43. 110 kV 高压电流互感器	9
10. 元件超净厂房内景	3	44. 500 kV 高压油纸电容式变压器 套管	9
11. 半导体器件	3	45. 超高压绝缘子链	9
12. 电力半导体器件	3	46. 华中电力集团公司主楼	10
13. 带散热片的半导体器件	4	47. 华北电网总调度室	10
14. 大容量交流设备	4	48. 华能石洞口第二发电厂控制室	10
15. 微机控制的扩散炉	4	49. 火箭发射	11
16. 大规模集成电路芯片	4	50. 人造地球卫星	11
17. 天线	4	51. 南京自动化研究所	11
18. 直流传动柜	4	52. 激光打印机	12
19. 电流表、电压表、功率表	5	53. 高速 24 针点阵式打印机	12
20. 检流计	5	54. 彩色喷墨绘图仪	12
21. 同步指示器	5	55. 软磁盘驱动器	12
22. 电压电流校准器	5	56. 扫描仪	12
23. 电度表检验台	5	57. 各种微型计算机	13
24. 电子式电度表	6	58. 防病毒卡	13
25. 电度表	6	59. 计算机工作站	13
26. 标准电度表	6	60. 电脑辞典	13
27. 直流标准电压源	6	61. 便携式计算机	13
28. 分时计度电度表	6	62. 户外式±1000 kV 直流高压发生 器	14
29. 最大需量电度表	6	63. 空气间隙冲击电压放电试验	14
30. 记录仪	7	64. 6000 kV 冲击电压发生器	15
31. 电子示波器	7	65. 户外高低压换线装置	16
32. 开关式直流精密电阻箱	7	66. 500 kV 静电电压表	16
33. 直流电阻电桥	7	67. 高压分压器	16
34. 电位差计	7		



ASCIIma

ASCII 码 (ASCII code) 见代码。

anpei

安培 (ampere) 国际单位制 (SI) 中电流的单位。安培简称安, 符号是 A。它是国际单位制的基本单位之一 (见电学和磁学量单位制)。它也是磁通势的单位。在真空中, 截面积可忽略的两根相距 1m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时, 若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} N, 则每根导线中的电流定义为 1 A。

(肖达川)

anpei huanlu dinglu

安培环路定律 (Ampère's circuital law)

见磁场强度。

anpeiza

安培匝 (ampere - turn) 磁通势的单位。

在磁路计算的一些场合下, 磁通势用线圈的匝数和线圈中电流的乘积表示。国际单位制 (SI) 中电流的单位是安培。因此电工中以安培匝作为磁通势的单位, 安培匝简称安匝。不过在 SI 中, 磁通势的单位是安培。

(肖达川)

aosite

奥斯特 (oersted) CGS 电磁制中磁场强度的单位。奥斯特简称奥, 符号是 Oe。在真空中的直长细导线中通以 1CGS 电磁制单位恒定电流, 距导线 2 cm 处的磁场强度定义为 1Oe。在国际单位制 (SI) 中, 磁场强度的单位是安培每米 (A/m)。这两个单位的换算关系是

$$1\text{Oe} = \frac{1000}{4\pi} \text{A/m} \approx 79.57 \text{A/m}$$

中国规定, 奥斯特是暂时和国际单位制并用的磁场强度单位。

(肖达川)

B

50% chongji fangdian dianya

50% 冲击放电电压 (50% impulse breakdown voltage) 绝缘间隙在多次施加冲击电压时, 其中半数导致击穿电压。

要使绝缘间隙击穿, 需要加足够高的电压以及足够长的电压作用时间。放电时间包括电压上升达到稳态击穿电压所需的时间和放电时延。放电时延又由两部分构成: 统计时延和放电形成时延。前者指达到稳态击穿电压后到间隙中出现(对击穿)有效的自由电子为止的时延; 后者指从出现有效电子直到击穿通道完全形成为止的时间。放电时延有分散性。放电时间随所加电压的增高而缩短。

在作用时间短促的冲击电压下, 由于放电时延有分散性, 当所加电压峰值固定, 但还不够高时, 击穿有时发生, 有时不发生。施加多次电压时, 击穿概率可表现为一定的百分比。由于难以准确地求得刚好发生击穿的临界电压, 所以采用 50% 冲击放电电压来反映间隙耐受冲击电压的特性。在实验中决定 50% 冲击放电电压时, 施加电压的次数越多越准确。在用测量球隙测量冲击电压时, 所采用的实用而简单的方法是, 调整电压至施加 10 次电压中有 4~6 次击穿, 这个电压值就可作为某一间隙下的 50% 冲击放电电压。采用 50% 冲击击穿电压决定绝缘距离时, 应根据分散性的大小, 保持一定的裕度。

(朱德恒)

BASIC yuyan

BASIC 语言 (BASIC) 见程序设计语言。

BCD ma

BCD 码 (BCD code) 见代码。

Bashen dinglü

巴申定律 (Paschen law) 表征均匀电场气体间隙的击穿电压与间隙距离和气压之间关系的定律。该定律说明在均匀电场下, 气体间隙的击穿电压

U_b 只和间隙气压 p 和距离 d 的乘积 pd 有关。即

$$U_b = f(pd) \quad (1)$$

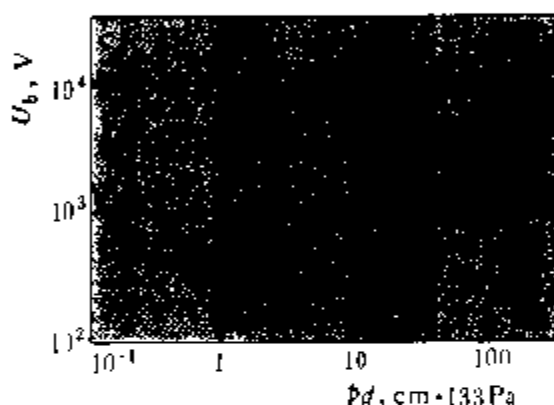
上式所表示的曲线称为巴申曲线。

1880 年 W. 德拉路 (W. de la Rue) 和 H. W. 米勒 (H. W. Müller) 首先通过实验研究了空气气压对放电的影响, 得到了现在所称的巴申曲线。1889 年 F. 巴申 (F. Paschen) 在平行板电极间进行实验, 完善了这种曲线。在 1903 年汤森放电理论建立以后, 可从汤森自持放电条件推出巴申定律的表达式。反过来由实验得出的巴申定律也支持了汤森放电理论。

从自持放电条件, 可以得出均匀电场中气体间隙击穿电压的表达式

$$U_b = \frac{Bpd}{\ln \left[\frac{Apd}{\ln(1 + 1/\gamma)} \right]} \quad (2)$$

式中 A 和 B 是电子碰撞电离系数 α 中的常数, γ 是阴极二次电子发射



几种气体的巴申曲线

系数 (见汤森放电理论)。在上式中假定 γ 是不依赖于电场强度 E 和气压值 p 的常数。由上式即可画出巴申曲线。几种气体的巴申曲线如图所示。

示。

巴申曲线最低点处对应的电压 $U_{b,min}$ 和相应的 $(pd)_{min}$ 值均可由式 (2) 导出。在实用中, $U_{b,min}$ 和 $(pd)_{min}$ 采用实验所得的数值。

影响间隙的击穿电压 U_b 的因素, 除 pd 值是主要的外, 还有气体的种类和成分、阴极材料的成分和表面状况、电极形状以及外界电离因素等等。

(罗承沐)

bangong zidonghua

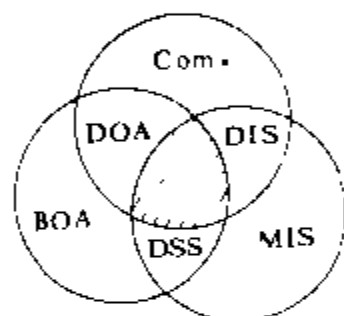
办公自动化 (office automation) 利用先进的科学拉术、办公设备和微型计算机系统, 为提高办公效率而构成的服务于办公业务的人机信息系统。它综合运用计算机技术和通信技术, 将数据、文字、图形、图像和语音处理等功能组合在一个系统中, 完成各项办公业务, 其目的是改善办公环境, 提高工作质量和办公效率。

“办公”是人们处理人群事务的活动, 办公室是信息集散的场所, 办公质量的优劣, 办公效率的高低, 直接影响着领导的决策和政策措施的贯彻执行, 办公自

动化是社会生产力发展的必然结果。20 世纪 50 年代的办公自动化主要是利用有助于提高办公效率的设备, 这些设备都是以单项应用为特点。60 年代末在办公室中引入了计算机信息处理设备, 主要用于文字处理和数据处理, 以及建立在数据库管理系统上的信息处理。在 70 年代中、后期, 微机和局域网络通信技术、远程数据通信等的发展和应用, 可使多种不同功能及用途的信息处理设备, 依靠通信技术联系起来, 实现功能和范围更大的办公职能, 把办公自动化技术推进到一个新的阶段。目前人们正在利用模型库、方法库和知识库等技术, 通过数学模型和方法, 辅助人们作出办公决策, 构造综合办公自动化系统。

办公自动化包括信息的采集、处理、传输、存储和发送五个环节, 其核心任务是向各层次的办公人员、决策人员提供所需的信息。

一个典型的办公自动化系统可以用如图所示的 BOA、Com. 和 MIS 三个功能圆相交部分来表示, 图中阴影部分, 称为综合办公自动化系统 (IOA)。BOA 即基本办公自动化系统, 用于处理事务类型的各种办公业务, 如文字处理、文件收发、登录、行文处理、报表处理、文档管理、办公日程管理、电子邮件和行政事务管理等; Com. 表示通信系统, MIS 表示管理信息系统。它们两两组合构成分布式办公自动化系统 (DOA)、分布式信息系统 (DIS) 和决策支持系统 (DSS)。DSS 根据 MIS 中的数据和日常办公事务的要求而进行辅助决策。



办公自动化系统
示意图

办公自动化是一门综合性跨学科的技术。所涉及的学科有: 计算机技术、通信技术、系统科学、行为科学、社会学、经济学以及管理学等多种学科。

(金连甫)

bandaoti

半导体 (semiconductor) 在室温下, 电阻率的数量级为 $10^{-6} \sim 10^6 \Omega \cdot m$, 而且电阻率值强烈地受到材料的结构和掺杂状况以及周围环境(如温度、电场、磁场、光照、压强、核辐射等)影响的材料。从能带结构看, 半导体与绝缘体相似, 它们所有的价电子数正好填满价带, 但是其价带与导带间的禁带, 较绝缘体的要窄得多, 一般在 $2 \sim 3 eV$ 以下。

半导体的电阻随温度的上升而迅速减小, 具有负的温度系数。这和金属的情况相反。

半导体的电阻率强烈地受杂质影响。例如高纯锗,

室温下电阻率为 $0.43 \Omega \cdot m$, 若每 2×10^5 个锗原子中掺入一个杂质原子铋, 则在室温下电阻率降为 $0.09 \Omega \cdot cm$, 减小约 470 倍。又如在硅晶体中, 每 10^5 个硅原子中掺入一个杂质原子硼, 则比纯硅在室温下的电导率增加 10^3 倍。

半导体中载流子有两种——电子和空穴。电子带负电荷, 电量为 $1.6 \times 10^{-19} C$, 空穴带正电荷, 电量与电子所带的大小一样。而在金属中, 只有电子一种载流子。

半导体具有比金属大得多的温差电效应, 半导体还具有光电效应、霍尔效应、磁阻效应、热磁效应、光磁电效应、压阻效应等物理效应。

半导体与金属接触、不同导电类型的同一种半导体材料间接触(称为 PN 结)、导电类型相同或相反的异种半导体材料间接触(称为异质结), 能显示出非对称的导电特性(称为整流特性)及非线性的电流电压关系(非欧姆性的导电特性)。

半导体具有的各种物理效应以及整流特性等现象, 是制作各种半导体器件、集成电路所依赖的基础。

不含杂质和缺陷的纯净半导体, 其内部电子和空穴浓度相等, 称为本征半导体。它们不宜用于制作半导体器件, 因制成的器件性能很不稳定。反之, 掺入一定量杂质的半导体称为杂质半导体或非本征半导体, 这是实际用于制作半导体器件及集成电路的材料。

如果掺入的杂质能够施放电子而产生导电电子以及形成正电中心, 这种杂质称为施主杂质或 N 型杂质。含施主杂质的半导体称为电子型或 N 型半导体, 它主要靠电子导电。若掺入的杂质能够接受电子而产生导电空穴以及形成负电中心, 这种杂质称为受主杂质或 P 型杂质。含受主杂质的半导体称空穴型或 P 型半导体, 它主要靠空穴导电。

若半导体中导电电子和空穴服从玻耳兹曼统计分布, 其费米能级处于禁带中, 则称为非简并半导体。若导电电子和空穴服从费米统计分布, 其费米能级接近或进入导带或价带中的半导体称为简并半导体。

目前已发现属于半导体材料的约有一千多种, 可以大体分为: ①元素半导体: 如硅、锗、硒、碲等。②化合物半导体: 这类半导体很多, 有由两种元素组成的二元化合物半导体, 以及由三种元素或更多种元素组成的多元化合物半导体。在二元化合物中, 又有 III—V 族, II—VI 族, IV—IV 族等。二元化合物如 LiF、CdS、ZnO、GaAs、PbS、GaP 等; 三元化合物如 $Ga_xIn_{1-x}As$ 、 $CuGaSe_2$ 、 $AgGaTe_2$ 、 $AgSbTe_2$ 等; 四元化合物如 $Ga_xIn_{1-x}As_{1-y}P_y$ 等。③非晶半导体: 如 a-Si、a-Ge、a-SiC 等。④有机半导体: 如萘、蒽、酞菁等。目前应用最多的是元素半导体硅、锗和 III—V 族化合物

GaAs 等。

(朱秉升)

bandaoti cunchuqi

半导体存储器 (semiconductor memory)

用半导体集成电路工艺制成的存储信息的芯片。它包含有大量存储单元及有关逻辑电路, 密度高, 体积小, 速度快, 外部逻辑接口简单, 多用作计算机可寻址存储器。20 世纪 70 年代以来, 它逐步取代磁心存储器而在计算机的高速存储方面得到广泛应用。根据功能特性, 半导体存储器可分为随机存储器和只读存储器。

随机存储器 (RAM) 按地址以相同速度随机地读出/写入数据的存储器。按工作方式, 它分静态和动态两类: ①静态随机存储器 (SRAM)。它的单元电路是触发器, 用两个稳定状态表示一个二进位。一般由双极型半导体制做, 高速随机存储器采用了射极耦合逻辑 (ECL), 但功耗大, 限制了电路密度。②动态随机存储器 (DRAM)。由一个 MOS 电容和一个 MOS 晶体管构成。数据以电荷形式存贮于电容上。由于有泄漏电流, 需周期性刷新, 但功耗低, 集成度高。

半导体随机存储器有易失性。如果电源切断, 则所存信息消失。若要保持信息, 则存储系统须具有在掉电前自动转换到后备电源的功能, 或将所存信息转移到非易失性的媒体保存。

只读存储器 (ROM) 用来存储固定程序或数据, 只能读出不可写入或改写的存储器。以字线和位线的交叉点是否有耦合器件来决定该单元存储“0”或“1”数据。它分成四类:

(1) 掩模编程只读存储器 (ROM)。用掩模有选择地在字线和位线交叉点上生成耦合器件实现固化。通常由生产厂编程固化。

(2) 可编程只读存储器 (PROM)。由用户编程固化, 并只能写入一次的芯片。在每个交叉点的存储单元中串接一熔丝。当在与其相应的字线、位线上加偏压时, 烧断熔丝, 以表示信息状态。

(3) 可擦可编程只读存储器 (EPROM)。可用紫外线擦去原存信息, 再次编程写入的芯片。用浮栅雪崩注入 MOS 器件时, 在选定器件的漏极或源根上加高压引起雪崩注入, 在浮动栅极积存电子, 改变单元电特性, 表示存入信息。通过紫外线照射, 消除积存电子, 可再次编程写入。

(4) 电擦除可编程只读存储器 (EEPROM)。可在计算机内用电擦除, 进行在线修改的芯片。可在强电场作用下, 通过隧道效应将电子注入浮栅或反过来将电子从浮栅消除。由微处理器及 EEPROM 装在基体

内制成的塑料卡, 在金融、流通等部门获得越来越多的应用。

(胡德河)

bandaoti erjiguan

半导体二极管 (semiconductor diode)

具有两个电极和不对称电流-电压特性的半导体器件。它的主要特点是具有单向导电性。所用的材料有硅、锗和化合物半导体。利用不同的材料, 不同的掺杂浓度, 不同的几何结构, 可以制成不同用途、特性各异的半导体二极管。

分类 按结构不同可分为点接触型半导体二极管和面接触型半导体二极管。①点接触型: 由一根金属丝与半导体表面相接触形成的势垒而构成 PN 结, 外加引线、管壳封装而成, 如图 1 (a) 所示。因其 PN 结面积小, 结电容小, 故适用于高频电路中, 工作频率可达几百兆赫, 但不能通过较大的电流, 因而多用于高频的检波、混频电路中。肖特基二极管也是点接触型二极管, 它的开启电压低, 电荷存储效应小, 能工作在更高的频率。②面接触型: 如图 1 (b)、(c) 所示。由于 PN 结的面积大, 结电容大, 故可通过较大的电流, 适用于低频的整流电路中。

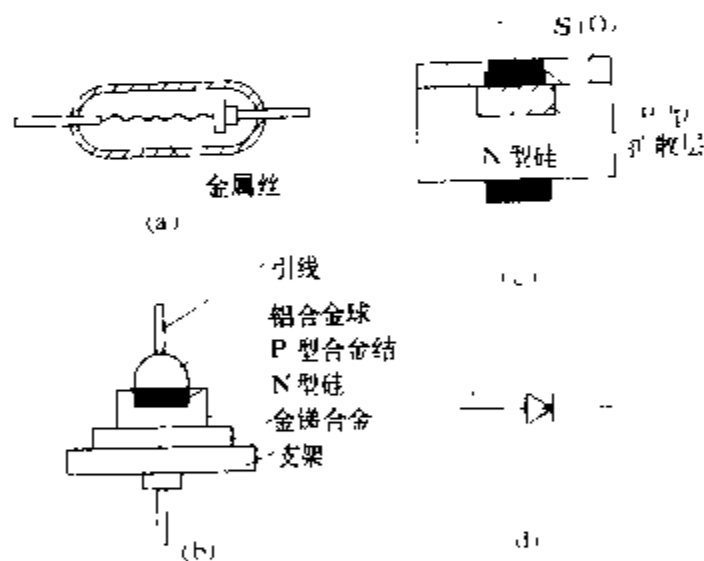


图 1 半导体二极管的结构及符号

(a) 点接触型; (b) 面接触型; (c) 平面型; (d) 图形符号

工作原理 半导体二极管的核心是 PN 结。利用掺杂工艺使同一半导体(如本征硅半导体)的一侧形成 P 型半导体, 在另一侧形成 N 型半导体。P 型半导体内空穴很多(称多子), 电子很少(称少子); N 型半导体内电子很多(称多子), 空穴很少(称少子)。这样, 在 P 型和 N 型半导体的交界处的区域内将形成 PN 结。P 型侧的引线为二极管的阳极, N 型侧的引线为阴极。

PN 结的形成如图 2 (a) 所示, 在 P 型半导体和 N 型半导体的交界处, P 型一侧的空穴浓度高, N 型一侧的空穴浓度低。这种浓度差, 导致空穴从 P 型侧向 N 型侧扩散, 于是, P 型侧在交界处便失去空穴, 却留下

带负电荷的负离子,如图2(a)中的“⊖”所示。由于浓度差造成的载流子移动称为扩散运动。同理,电子从N区向P区扩散,在交界处N型一侧留下正离子“⊕”。这些正负离子由于原子内部结构关系,是不能任意移动的,它们不参加导电,不是载流子,因此,在交界处便形成了积聚很多正负离子的区域,在此区域内,只有固定不能移动的正负电荷,而没有载流子,这个区域称为空间电荷区。在空间电荷区内,多数载流子已经完全扩散到对方并被对方复合掉了,故又称为耗尽层。这就是PN结。因PN结内没有载流子,故具有很高的结电阻 r 。在空间电荷区内,由正负离子分别带正负电荷,故造成一个电场,它的方向自N区指向P区。因这个电场是在无外加电压时,由载流子浓度差造成的,故又称为内电场。由图2(a)可见,这个内电场的方向是要阻止多子向对方继续扩散的,但是,内电场却有利于少子向对方漂移;

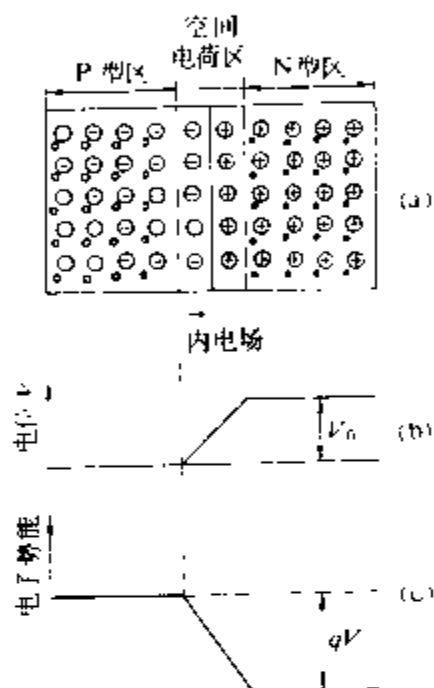


图2 PN结的形成
(a) 空间电荷区; (b) PN结的电位分布; (c) 电子势能

少子在电场作用下向对方的移动称为漂移运动。当载流子的扩散和漂移相等时,达到动态平衡状态,这时,N区的电位高于P区 V_0 伏, V_0 一般为零点几伏,如图2(b)所示。N区的电子必须具有越过图2(c)所示的势垒能量才能到达P区,势垒的高等于 qV_0 电子伏,式中 q 为电子的电荷。以上是在PN结两端没有外加电压时的情况。

当PN结两端外加正向电压 U_F 时,即P区接正,N区接负时,P区的电位被外加电压升高了 U_F ,而N区的电位只高于P区电位 $V_0 - U_F$,即势垒高度下降到 $q(V_0 - U_F)$ 电子伏,于是有更多的空穴从P区向耗尽层移动,和耗尽层内的负离子中和,使耗尽层内的负电荷减少。同理,有更多的电子从N区向耗尽层运动,中和了耗尽层内的正离子。这样,耗尽层内的空间电荷减少,空间电荷区变窄,势垒高度变低,多子的扩散电流大大增加,P区从电源 E 的正端取得空穴,以补充失去的空穴,于是,外电路中形成一个流入P区的正向电流 i_F ;同时,N区从电源 E 的负端取得电子,以补充失去的电子。因势垒降低,结电阻 r 变得很小,PN结两端的电压降只有零点几伏, i_F 之值主要取决于外

电路中的电阻,因此外电路中必须串接限流电阻 R ,如图3所示。

当PN结两端外加反向电压时,将导致耗尽层变宽,势垒高度增加,结电阻大大增加,多子更难于扩散到对方。势垒的增高虽有利于少子向对方漂移,但由于少子的数量本来就很少(少子的数量主要取决于PN结的温度),因而漂移电流增加极少,外电路中只有很小的反向饱和电流 I_s 。

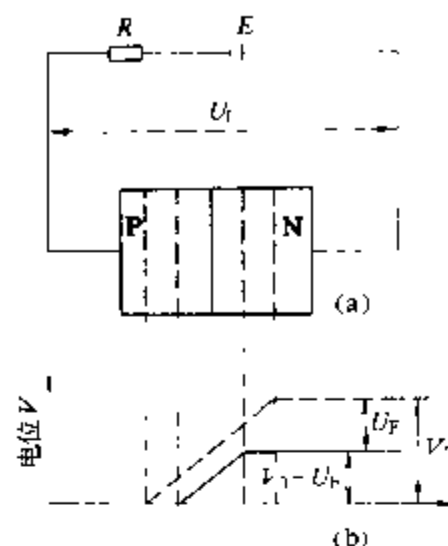


图3 外加正向电压时的PN结

(a) 电路图; (b) 电位分布

特性参数 半导体二极管有下列主要特性参数:

(1) 伏安特性。半导体二极管的伏安特性可用下式表示

$$i_F = I_s \left(e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1 \right)$$

式中 i_F 为正向电流, mA 或 A; I_s 为反向饱和电流, μA ; u_D 为二极管两端的电压降, V; U_T 为温度的电压当量,其值为 $U_T = \frac{T}{11600} V$,当室温($T = 293 K$)时, $U_T = 25 \times 10^{-3} V$ 。伏安特性曲线如图4所示,由图可见:当 u_D 大于某一电压 U_{th} 时,开始有电流通过二极管, U_{th} 称为开启电压或称门坎电压;当反向电压超过某一极限值时,PN结被击穿,反向击穿时的电压用 $U_{(BR)}$ 表示, $U_{(BR)}$ 称为反向击穿电压。有的二极管反向击穿后,在相当大的电流范围内,具有恒压特性;硅稳压二极管就是利用这个特性的特殊二极管。图4所示的伏安特性随温度变化而略有变化,当通过PN结的电流恒定时,有 $\frac{du_D}{dT} = -2.2 mV/^\circ C$ 。

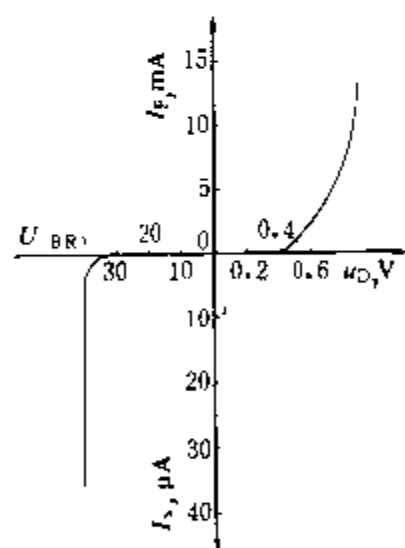


图4 硅二极管的伏安特性
特性;硅稳压二极管就是利用这个特性的特殊二极管。图4所示的伏安特性随温度变化而略有变化,当通过PN结的电流恒定时,有 $\frac{du_D}{dT} = -2.2 mV/^\circ C$ 。

(2) PN结电容。由两部分组成,一为势垒电容 C_B ,另一为扩散电容 C_D 。势垒电容 C_B 是当二极管的外加电压变化时,耗尽层要变窄或变宽,耗尽层内的电荷将减少或增加,从外电路看,相当于从外部向耗尽层充放

电,耗尽层就等效为一个电容,称为势垒电容 C_B 。扩散电容 C_D 是反映载流子在扩散过程中的积累效应。当二极管外加正向电压时,P区的空穴将扩散到N区,为了在N区内形成扩散电流,N区内的少数空穴分布必须有浓度差,如图5所示。同理,在P区内也有少数电子的浓度差,当外加正向电压升高或降低时,少子的积累会相应的增加和减小,从外电路看,相当于有电流的充放,这就体现了扩散电容 C_D 的效应。当二极管两端外加反向电压时,P区和N区内的少数子很少,等效的扩散电容也很小,可忽略不计。由此可见:当二极管正偏时,结电容主要是扩散电容;反偏时,结电容主要是势垒电容。结电容是决定二极管的高频性能的主要因素。变容二极管就是利用PN结反向偏置时的势垒电容变化的特殊二极管。

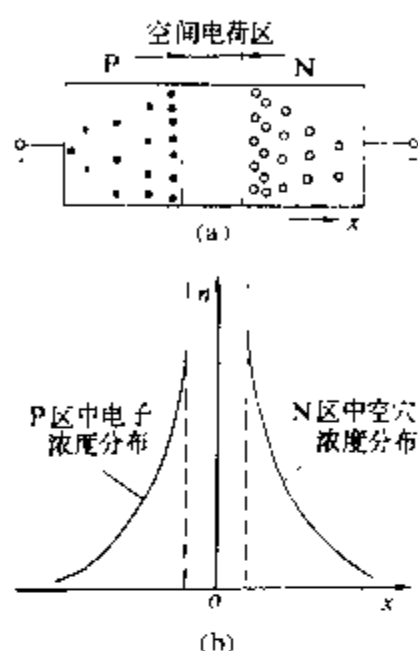


图5 P区和N区中积累的少数分布
(a)示意图;(b)浓度分布曲线

变化的特殊二极管。
(3)工作频率。二极管适用的电路频率。高频电路中使用的二极管,要求工作频率要高。
此外,二极管的正向电流 I_F 和反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 也是二极管的重要参数。
半导体二极管正朝着高频率、高转换速率(从饱和到截止或反之)、高反压、大电流等方向发展。

(康华光 何金茂)

bandaoti kaiguan erjiguan

半导体开关二极管 (semiconductor switching diode) 在电路中工作在开关状态的二极管。由于它用于开关电路,故要求它的开关速度快。二极管的开关速度取决于结电容上存储电荷的建立或消失的速度。低频整流管因PN结面积大,结电容大,故存储电荷多,由正向导通到反向截止的反向恢复时间较长。开关二极管的结面积做得小,同时在制造工艺过程中,利用掺金作用,可以缩短反向恢复时间。所谓掺金作用就是在半导体中掺入极少量的金元素,这些金元素很容易捕获电子,同时与空穴复合而消失,从而加快管子的开关速度。开关二极管由反向截止转化为正向导通所需的时间很短,可以忽略不计。例如硅开关二极管 2CK70 的反向恢复时间 $\leq 3 \text{ ns}$, 锗开关二极管

2AK7 的反向恢复时间 $\leq 150 \text{ ns}$ 。

(康华光)

bandaoti sanjiguan

半导体三极管 (semiconductor triode; transistor) 能起放大作用,且至少具有三个电极的半导体器件。自1948年问世以来,它的放大作用和开关作用促使电子技术飞跃发展。按载流子运动的不同可分为双极型晶体管和场效应管(见场效应半导体器件)。以下主要介绍双极型晶体管。由于它工作时涉及两种载流子(空穴和电子)的运动,故称双极型,常简称为晶体管。它的种类很多。按工作频率的不同,可分为高频管和低频管;按功率的不同,可分为小、中、大功率管;按半导体材料不同,可分为硅管、锗管等。晶体管有三个电极,其常见的外形图如图1所示。

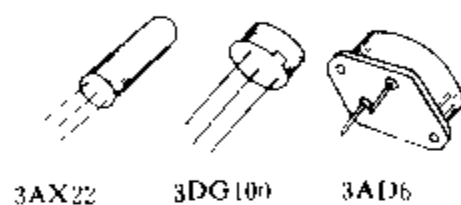


图1 几种晶体管的外形

基本结构 目前常用的晶体管是利用光刻、扩散等工艺制成的平面管。其结构见图2。图2(a)所示为

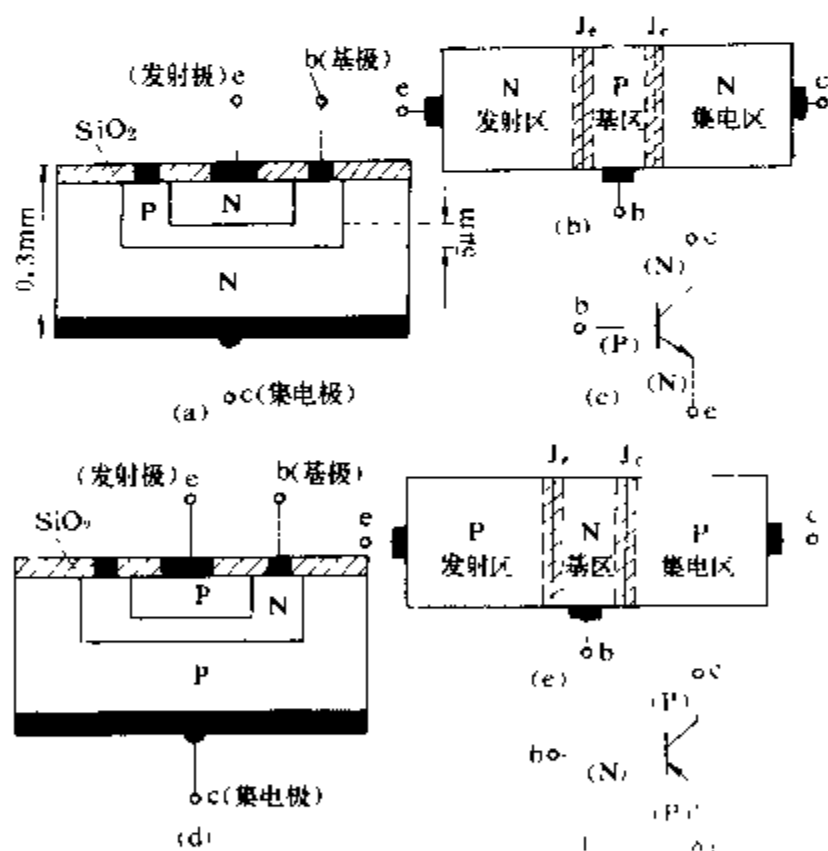


图2 晶体管结构示意图及其符号

(a)、(b) NPN型平面晶体管;(c) NPN型符号;
(d)、(e) PNP型平面晶体管;(f) PNP型符号

NPN型,图2(d)所示为PNP型。它们都由三个掺杂区和两个PN结构成。图2(b)和图2(e)中,位于中间一层很薄的半导体称为基区,厚度约1~几十微米,两侧的半导体一层称为发射区,另一层称为集电区,各区分别引出基极b、发射极e和集电极c。发射

区和基区之间的PN结,称为发射结 J_e ,集电区和基区之间的PN结,称为集电结 J_c 。晶体管的代表符号如图2(c)和(f)所示。箭头表示发射结正向导电时的电流方向。

电流分配和放大原理 晶体管在工作时,它的两个PN结上的偏置电压可有三种不同的组合:发射结和集电结均反偏,管子处于截止状态;发射结正偏,集电结反偏,管子处于放大状态;发射结和集电结均正偏,管子处于饱和状态。在模拟电子电路中,主要是利用放大状态;在脉冲数字电路中,主要利用截止和饱和状态。下面以NPN型晶体管为例来说明。

电路如图3所示。发射结处于正向偏置,发射区的电子扩散进入基区,电源不断向发射极补充电子,形成发射极电流 I_E 。基区的空穴也要向发射区扩散,但由于基区的空穴浓度比发射区的电子浓度小得多,因此空穴电流很小,可以忽略不计(图3中未画出)。由发射区注入基区的电子,由于浓度差别向集电结继续扩散。在扩散过程中,有少量电子与基区中的空穴相遇而复合。电源不断从基区拉走电子,使基区激发出新的空穴,以补偿被复合掉的空穴。被拉走的电子形成电流 I_{BN} (图3),它基本上等于基极电流 I_B 。由于集电结是反向偏置,所以基区中扩散到集电结边缘的电子在电场的作用下很容易漂移过集电结,到达集电区,形成电流 I_{CN} ,它基本上等于集电极电流 I_C 。

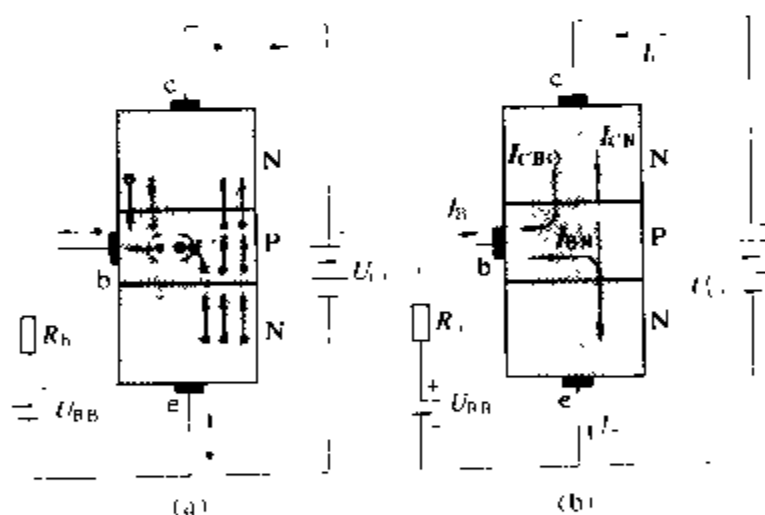


图3 晶体管中的电流

(a) 载流子运动; (b) 电流分配

此外,集电区少数(空穴)和基区少数(电子)在集电结反向偏置作用下,形成反向饱和电流 I_{CBO} 。该电流数值很小,它构成集电极电流 I_C 和基极电流 I_B 的一小部分(见图3),但受温度影响很大,与外加电压的大小关系不大。

由上可知,构成发射极电流 $I_E = I_B + I_C$ 中, I_{BN} 与 I_{CN} 相比, I_{CN} 占百分比很大,这个比值用 β 表示,即

$$\beta = \frac{I_{CN}}{I_{BN}} = \frac{I_C - I_{CBO}}{I_B + I_{CBO}} \approx \frac{I_C}{I_B}$$

β 表示晶体管的电流放大能力,称为共射极直流电流

放大系数。所以放大作用就是由输入端一个小的变化量(这里是基极电流 I_B)去控制电源 U_{CC} 通过的电流,使输出端产生一个与输入量变化相对应的大的变化量(这里是集电极电流 I_C)。

晶体管的特性曲线 主要有输入特性曲线和输出特性曲线。

(1) 输入特性曲线:以 u_{CE} 为参变量, i_B 和 u_{BE} 之间的关系,即 $i_B = f(u_{BE}) \Big|_{u_{CE}=\text{常数}}$ 。通常只画出 $u_{CE} \geq 1\text{V}$ 的一条输入特性曲线,因为 $u_{CE} > 1\text{V}$ 的其它输入特性曲线基本上是重合的。图4是一个硅NPN管(3DG100)的输入特性曲线。输入特性有一段死区。只有在发射结外加电压大于死区电压时,才会有电流 i_B 。硅管的死区电压约为0.5V,锗管的死区电压不超过0.2V。

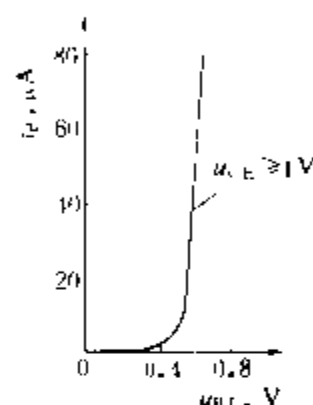


图4 3DG100晶体管的输入特性曲线

(2) 输出特性曲线:以 i_B 为参变量, i_C 和 u_{CE} 之间的关系,即 $i_C = f(u_{CE}) \Big|_{i_B=\text{常数}}$ 。在

不同的 i_B 下,可得出的一组特性曲线,如图5所示。当 i_B 有一微小的增大时,相应的 i_C 有较大增加,曲线上移,这就是晶体管的电流放大作用。

通常把晶体管的输出特性曲线分为三个工作区(见图5):①放大区 $i_C = \beta i_B$,也称线性区。②截止区 $i_B \leq 0$, $i_C \leq I_{CBO}$ 。③当 $u_{CE} < u_{BE}$ 时为饱和区,在该区中 i_B 的变化对 i_C 的影响较小,两者不成比例。饱和时c、e间电压称为饱和压降,记作 u_{CES} ,其值较小。

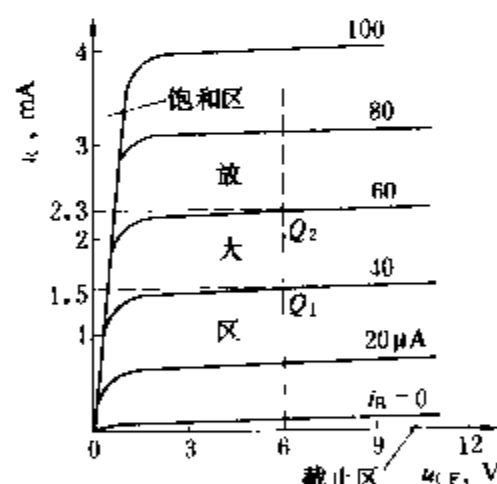


图5 3DG100晶体管的输出特性曲线

主要参数 主要有电流放大系数、极间反向电流、频率特性、结电阻和结电容以及极限参数等。

(1) 电流放大系数:共射极直流放大系数 $\beta (h_{FE}) \approx \frac{I_C}{I_B}$;共射极交流电流放大系数 $\beta (h_{ie}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 。共基极直流放大系数 $\bar{\alpha} \approx \frac{I_C}{I_E}$;共基极交流放大系数 $\bar{\alpha} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ 。 $\bar{\beta} \approx \beta$, $\bar{\alpha} \approx \alpha$ 。常用的晶体管 β 值在20~100之

间。

(2) 极间反向电流: I_{CBO} 是发射极开路时, 集基极间的反向饱和电流。 I_{CEO} 是基极开路时, 集发射极间的穿透电流。选用管子时, 一般要求极间反向饱和电流尽量小, 以减小温度的影响。硅管的反向电流比锗管小 2~3 个数量级, 故常选用硅管。

(3) 频率特性: ①特征频率 f_T 是当 β 下降到 1 时的频率。②共发射极截止频率 f_β 是当 β 下降到低频时 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍的频率。③共基极截止频率 f_c 是当 α 下降到低频时 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍的频率。 $f_c > 3 \text{ MHz}$ 的晶体管为高频管, $f_c < 3 \text{ MHz}$ 的为低频管。

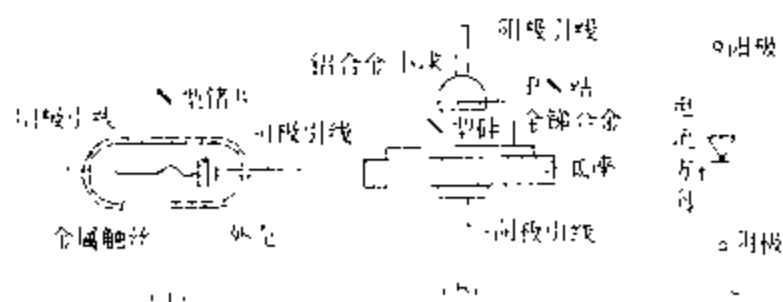
(4) 结电阻和结电容: ①发射结参数 r_{be} 和 c_{be} , 分别表示结层电阻 [$r_{be} = (1 + \beta) \frac{U_T}{I_E}$, U_T 见半导体二极管] 和结电容。②集电结参数 r_{bc} 和 c_{bc} , 分别表示集电结的结层电阻和结电容。③基区电阻 $r_{bb'}$ 是表示基区的等效体电阻, 是高频等效电路的一个重要参数, 不同类型的三极管数值相差很大。

(5) 极限参数: ①集电极最大功耗 P_{CM} 由管子的温升决定, 硅管结温最高为 150°C , 锗管约为 70°C 。使用时要注意散热条件。②集电极最大电流 I_{CM} 由 $U_{CE} = 1\text{V}$ 时达到 P_{CM} 的 I_C 值决定。此时 β 将明显下降。③反向击穿电压有多种, $U_{(BR)CEO}$ 表示发射极开路时集基极间的反向击穿电压, $U_{(BR)CBO}$ 表示基极开路时集射极之间的反向击穿电压, $U_{(BR)EBO}$ 表示集电极开路时基射极之间的反向击穿电压。

(顾立麓 叶德斌)

bandao zhengliu erjiguan

半导体整流二极管 (semiconductor rectifier diode) 用于整流的半导体二极管。半导体整流二极管按其结构的不同可分为点接触型和面接触型两类。点接触型的结构如图 (a) 所示。它主要用于高频电路中, 取其结面积小、结电容亦小的特点。在电力系统中, 用得较多的是面接触型整流二极管。它的结构如图 (b) 所示。由于它的结面积大, 故可通过较大的电



整流二极管

(a) 点接触型; (b) 面接触型; (c) 图形符号

流, 其极间电容也大, 常用于整流装置中 (见整流电路), 图 (c) 表示二极管的图形符号。例如小功率的面接触型硅二极管, 最大整流电流可为几百毫安, 最高反向工作电压为几十伏, 最高工作频率为几十千赫。大功率的整流二极管, 最大整流电流为几十到几百安, 甚至数千安, 最高反向工作电压有不同档级, 在几十伏到数千伏之间变化。

硅桥式整流组合管在电子设备中广泛应用, 它是用四只硅整流二极管接成全波单相桥式整流电路, 以塑料封装, 如 QSZ1A, 其最大整流电流为 1 A, 最高反向工作电压在 30~1500 V 之间不等。

此外, 尚有一种高压硅堆, 用多只硅粒串接而成, 用塑料封装。如 2DL015/0.04, 其反向工作电压为 15000 V, 平均整流电流为 40 mA。

(康华光)

baomo dianzu cailiao

薄膜电阻材料 (materials for film resistance) 用于制造薄膜电阻的材料。电子技术中广泛应用薄膜电阻材料来制造分立电阻元件及集成电路中的电阻元件。有二类薄膜电阻材料, 一类是碳膜, 另一类是金属膜。早期大量使用碳膜电阻, 但由于工艺上的原因, 碳膜电阻的容许误差高达 $\pm 10\%$ 以上, 而且温度系数大, 因此在要求高的场合普遍使用金属膜电阻。当金属的厚度小于电子在金属中的平均自由程时, 电阻率急剧增加。利用这一效应可制成体积很小而阻值很高的金属膜电阻。其阻值误差可控制在 $\pm (2.5 \sim 5)\%$ 内, 而且电阻温度系数远小于碳膜电阻。金属膜电阻的时间稳定性较好, 体积比相同功率的碳膜电阻小得多。薄膜电阻一般成膜于陶瓷或玻璃基体上。炭膜还可以成膜于绝缘纸板上。金属成膜可采用蒸镀法、阴极溅射法、还原法和氧化物烧结法。常用的金属膜材料有镍铬合金 (Ni-Cr)、氮化钽 (TaN)、Cr-SiO₂、氧化锡 (SnO₂) 等。其中 Cr-SiO₂ 用于制造 $1 \text{ M}\Omega$ 以上的高值电阻。金属膜电阻的温度系数大致是 $10^{-4} 1/^\circ\text{C}$ 量级, 有正温度系数和负温度系数二类。碳膜电阻具有负的温度系数, 数值是 $10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ 量级, 其时间稳定性比金属膜电阻差得多。

(黄嘉豫)

beyazhengliu dianlu

倍压整流电路 (voltage-multiplier rectifier)

利用二极管的整流和导引作用, 按极性相加原则, 得到高于变压器二次侧峰值电压几倍以至更多倍数的直流输出电压的一种整流电路。电力工程中, 有时需要工作电流小, 但工作电压较高的直流电源, 例如冲

击电压发生装置。为了避免因提高变压器二次侧电压而带来的困难,通常采用倍压整流电路来获得所需的高压电源。

二倍压整流电路 电路图如图 1 所示。当变压器 T 的二次侧电压 u_2 为上负下正时, V1 导通, 电容 C_1 被充电至 U_{C1} (左负右正); 当 u_2 为上正下负时, V2 导通, 电容 C_2 被充电至 U_{C2} (上正下负)。当

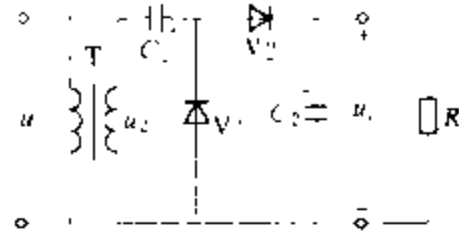


图 1 二倍压整流电路

C_1 和 C_2 的容量足够大, 负载电阻 R_L 又很大时, 则 $U_{C1} = \sqrt{2} U_2$, $U_{C2} \approx \sqrt{2} U_2$, $U_L = U_{C2} \approx 2 \sqrt{2} U_2$ 。

多倍压整流电路 电路图如图 2 所示。当变压器二次侧电压 u_2 上正下负 (正半周) 时, 通过 V1 将 C_1 充电到 $\sqrt{2} U_2$; 当 u_2 为上负下正 (负半周) 时, U_{C1} 和 u_2 的极性使两个电压相加, 经过多次反复对 C_2 充电, 将 C_2 两端电压充到近似为 $2 \sqrt{2} U_2$; 而 U_{C2} 加上正半周时的 u_2 再减去 U_{C1} 经过 V3 多次反复向 C_3 充电, 最后将 C_3 两端电压也充到近似为 $2 \sqrt{2} U_2$ 。依此类推, 可知在此电路中, 除电容 C_1 ($U_{C1} \approx \sqrt{2} U_2$) 外, 其余每一个电容两端的电压都是 $2 \sqrt{2} U_2$, 因此按极性把电容两端电压相加的原则串联起来, 就可得到所需的多倍压输出。

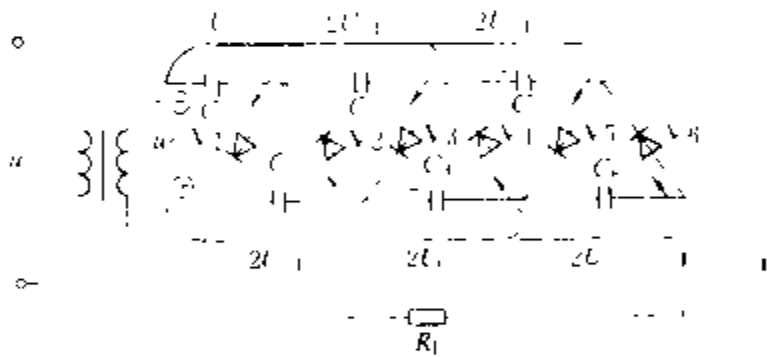


图 2 多倍压整流电路

当输出电流 I_L 不为零时, 多倍压整流电路的输出电压为

$$U_L = 2 \sqrt{2} n U_2 - \frac{I_L}{fC} \left(\frac{2}{3} n^3 + \frac{3}{4} n^2 + \frac{n}{12} \right)$$

式中 n 是倍压整流的级数 (图 2 所示电路 $n=3$); f 是交流电源频率 (在中国 $f=50 \text{ Hz}$); U_2 是变压器二次侧电压有效值; I_L 是负载电流平均值。

由于多倍压整流的输出电压是许多电容经过反复充电所形成的, 所以, 倍压级数越多, 其输出脉动就越大, 脉动系数 $M = n(n+1)/4fCR_L$ 。

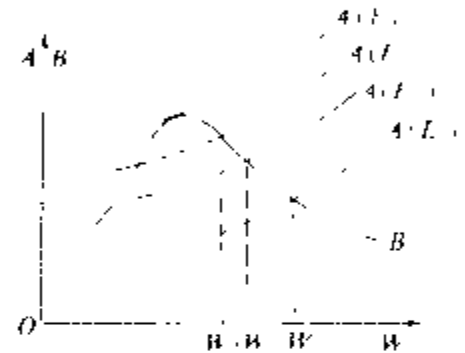
(叶治政)

benzheng pichuan

本征击穿 (intrinsic breakdown) 温度较低、电压作用时间较短时, 纯净、均匀固体电介质, 由绝缘状态突变为良导电状态的过程。本征击穿过程所需时间为 10^{-8} s 数量级, 本征击穿场强大于 1 MV/cm , 它反映了固体电介质本身固有的电气强度。

固体电介质中存在少量自由传导电子 (处于导带能量状态的电子)。在电场作用下, 传导电子一方面从电场获取能量, 另一方面也将与固体电介质晶格发生碰撞而失去一部分能量。传导电子由电场获得的能量与电场强度 E 、电子本身能量 W 、晶格温度 T 有关, 它与晶格碰撞时失去的能量也与 W 和 T 有关。若以 A 表示单位时间内传导电子由电场取得的能量, B 表示单位时间内传导电子因与晶格碰撞而失去的能量, 且若晶格温度 T 为定

值, 则 A 、 B 与 W 的关系如图所示, 图中 $E_H > E_2 > E_C > E_1$ 。当外加电场大于 E_H 时, 单位时间内传导电子获得的能量 A 始终大于失去的能量 B , 电子被加速, 碰撞



A 、 B 与 W 的关系

晶格时产生电离, 使处于导带能量状态的电子不断增加, 电流急剧上升, 最终导致固体电介质击穿。因此, E_H 是一个临界值, 大于此场强击穿一定发生。

实际上, 在外加电场小于 E_H (例如 E_C) 时仍有可能发生击穿。例如当外加电场为 E_2 时, 因电子的能量分布具有统计规律性, 必有具有能量在 $W_2 \sim W_C$ (W_C 为电离能) 之间的传导电子存在, 由于 $A > B$, 电子因能量不断增加而被加速, 使晶格发生碰撞电离, 产生新的电子; 由于电子能量的统计分布, 能量在 $W_2 \sim W_C$ 之间的电子数也会增加, 并重复上述过程而使处于导带能量状态的电子不断增加, 最终使固体电介质击穿。

若外加电场为 E_1 , 因电子能量的统计分布, 偶尔也会有能量大于 W_1 的电子出现, 但其出现概率甚低; 能量大于 W_1 的电子能使晶格发生碰撞电离, 产生新的传导电子, 因新产生的电子能量大于 W_1 的概率极低, 所以上述电子不断增加的过程不会出现, 固体电介质也不会击穿。

(谈克雄)

bijiaoqi

比较器 (comparator) 比较二个模拟电压大小的集成电路。它用集成电路的输出电压的高低电

平来表示比较的结果,广泛应用于波形变换、模拟与数字信号的转换以及控制与保护电路中。

单门限比较器 原理电路如图 1 (a) 所示。设运算放大器 N (以下简称运放) 的开环电压放大倍数为 A_{uo} , 理想值为 $A_{uo} = \infty$, U_i 为被比较的输入模拟电压。这里, 运放的同相输入端直接接地, 故另一个和 U_i 进行比较的电压 U_p 为 0 V, 这个零伏电压又称基准电压 U_R 。运放 N 一旦工作在放大区, 就有 $U_o = A_{uo} (U_p - U_n)$, 而且 $U_p = 0$; 当 $U_n = U_i - I_i R > 0$ 时, U_o 等于运放的负向饱和值 U_{-ss} , 如图 1 (b) 所示。需要指出的是, 这时运放已工作在负向饱和状态 (开关状态), 运放 N 已脱离放大区, 公式 $U_o = A_{uo} (U_p - U_n)$ 已不成立, 但是, 当 U_i 刚由 0 V 向正方向增加的瞬间, 运放仍工作在放大区, 上述公式还是适用的。相反, 当 U_i 从 +2 V 朝负值变化, U_i 在 0 V 附近时, 运放又退出负向饱和区进入放大区, 一旦 $U_i < 0$ V 时, 运放又由放大区进入正向饱和区, 此时 $U_o = U_{+ss}$, 如图 1 (b) 所示。可见, 运放输出电压发生跳变时的输入电压 $U_i = U_{Th} = 0$ V, U_{Th} 称为阈值电压又叫门限电压。这个比较器只有一个阈值电压, 故得名单门限比较器。一般情况下, 运放的正、负饱和电压绝对值不相等, 即 $U_{+ss} \neq U_{-ss}$ 。

同理, 图 1 (c) 亦为单门限比较器, 其门限电压 U_{Th} 亦为 0 V, 与图 1 (a) 的区别在于: 输入电压 U_i 接于同相输入端, 其传输特性如图 1 (d) 所示。

门限电压 U_{Th} 不是 0 V 的电路图如图 1 (e) 所示。

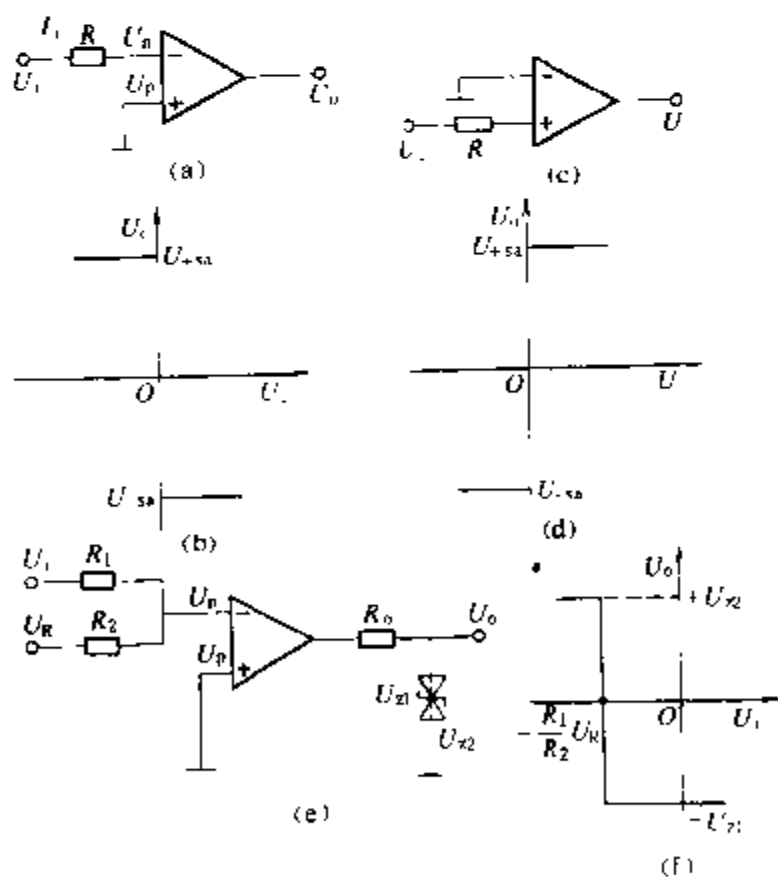


图 1 单门限比较器

(a) 反相输入比较器; (b) 图 (a) 的传输特性; (c) 同相输入比较器; (d) 图 (c) 的传输特性; (e) $U_{Th} \neq 0$ 时的反相输入比较器; (f) 图 (e) 的传输特性

输出电压 U_o 发生突变的条件仍然是 $U_p = U_n = 0$ V。在反相输入端应用叠加原理得 $U_n = U_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_R \frac{R_1}{R_1 + R_2}$, 当 $U_n = 0$ 时, 则 $U_i = U_{Th} = -\frac{R_1}{R_2} U_R$, U_R 是直接和 U_i 相比较的基准电压。调节 R_1 、 R_2 即可改变门限电压 U_{Th} 之值。图 1 (f) 为其传输特性。

单门限比较器的缺点是抗干扰能力差。如图 1 (b) 所示, 当 $U_i < 0$ V 而接近于 0 V 时, 比较器的输出电压 U_o 应当稳定在 U_{+ss} 上, 但是, 如果输入信号 U_i 中串入一个较小的正向干扰电压, 则 U_i 加上干扰电压就可能达到和超过 $U_{Th} = 0$ V, U_o 就发生跳变, 由 U_{+ss} 变为 U_{-ss} ; 这是误动作。

图 1 (b)、(d)、(f) 中 U_o 突变部分都画成垂直线, 意思是 $U_i = U_{Th}$ 时, U_o 立即发生突变, 实际上, 由于运放内部含有电容, 尽管其值很小, 但足以使 U_o 不可能突变。为了加快 U_o 的跳变速度和提高比较器的抗干扰能力, 可采用迟滞型带正反馈的比较器。

带正反馈的迟滞型比较器 电路如图 2 (a) 所示, U_o 通过 R_3 反馈到同相输入端, 从而形成正反馈, 加速

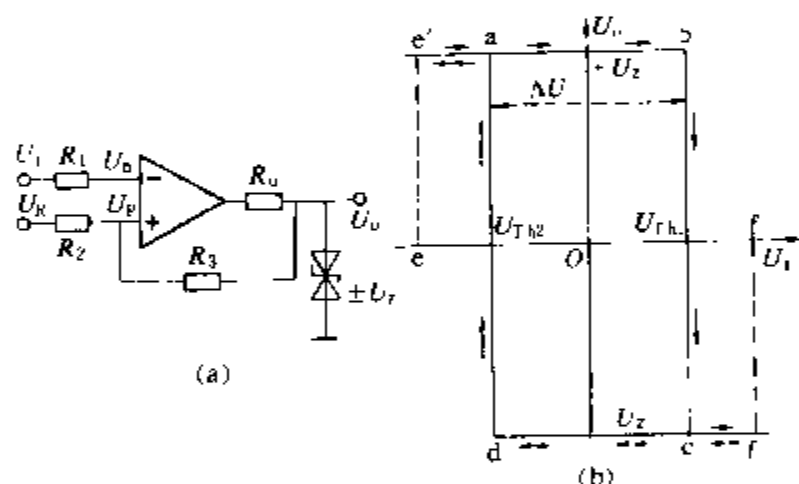


图 2 带正反馈的迟滞型比较器
(双门限比较器)

(a) 电路图; (b) 传输特性

了输出电压的跳变速度。 U_R 为基准电压。 U_i 的突变仍然发生在 $U_p = U_n$ 的瞬间, 这时运放工作在放大区, 运放 N 可看作是理想元件, 故 $U_n = U_i$, 由叠加原理得 $U_p = \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_R + \frac{R_2}{R_2 + R_3} U_o$ 。当 $U_p = U_n$ 时得 $U_{Th} = U_i = \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_R + \frac{R_2}{R_2 + R_3} U_o$ 。式中 U_o 有高低电平 $\pm U_z$, 两个数值, 代入上式可得两个门限电压: $U_{Th1} = \frac{R_3 U_R + R_2 U_z}{R_2 + R_3}$; $U_{Th2} = \frac{R_3 U_R - R_2 U_z}{R_2 + R_3}$ 。据此, 可画出如图 2 (b) 所示的传输特性。因有二个门限电压, 故又称双门限比较器。由图 2 (b) 得迟滞特性的宽度 $\Delta U = U_{Th1} - U_{Th2} = \frac{2R_2}{R_2 + R_3} U_z$, 可见改变 R_2 、 R_3 之值, 即可

改变迟滞特性的宽度 ΔU 之值。

当 $U_i = 0e$ 时, 比较器工作在图 2 (b) 中的 e' 点, 这时, 输出电压为 $+U_z$ 。设 U_i 从 $0e$ 逐渐增加到 $U_i = 0f$, 则比较器的工作点移动轨迹为: 从 e' 点开始, 沿着单箭头指向经过 a 点继续朝 ab 方向移动, 输出电压 U_o 仍保持 $U_o = +U_z$ 。当 U_i 继续增加到 $U_i = U_{Th1}$ 时, U_o 才从 $+U_z$ 突然下降到 $-U_z$, 如图 2 (b) 中 bc 间的单箭头所示; 当 U_i 继续增加到 $U_i = 0f$ 时, 工作点到达 f' 点, 并稳定在 f' 点上。输出电压 $U_o = -U_z$ 。同理, 当 U_i 从 $U_i = 0f$ 逐渐下降到 $U_i = 0e$ 时, 比较器工作点移动的轨迹为 $f' \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a \rightarrow e'$ 如图 2 (b) 中双箭头所示。双门限比较器的优点是提高了 U_o 的突变速度和大大提高了抗干扰能力, 例如当 $U_i > U_{Th1}$ 而十分接近于 U_{Th1} 时, U_o 能稳定在 $-U_z$ 上, 这时, 如果 U_i 中串入一个负向的干扰电压, 只要这个干扰电压的绝对值小于 ΔU , U_o 就不会突变, 仍然能稳定在 $-U_z$ 上, 从而避免了误动作。

(何金茂)

Bi'ao - Safaer dinglu

毕奥-萨伐尔定律 (Biot - Savart law)

描述真空中恒定电流所建立的磁场的定律。它是法国物理学家 J. B. 毕奥 (Jean Baptiste Biot) 和 F. 萨伐尔 (Felix Savart) 根据对载流回路周围的磁场进行实验研究的结果, 于 1820 年提出的。后经拉普拉斯等人的工作, 将定律表述为目前所见的形式。如图所示, 置于真空中的导线 l 中有恒定电流 I , dl 是导线的长度元。电流 Idl 在空间任一点 P 建立磁场, 其磁感应强度的量值 dB 与电流元至 P 点的距离 r 的平方成反比, 与 $Idl \sin \theta$ 的绝对值成正比 (角度 θ 为电流元 Idl 与矢量 r 间的夹角), 即

$$dB = K \frac{|Idl \sin \theta|}{r^2}$$

式中的比例因子 K 依赖于所采用的单位制。在国际单位制 (SI) 中, $K = \mu_0 / 4\pi$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, 是真空磁导率。应用矢量式, 毕奥-萨伐尔定律可表示为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{Idl \times r^0}{r^2}$$

式中, r^0 是从电流元指向 P 点的单位矢量。整个载流回路 l 在 P 点所产生的总磁感应强度 B , 等于该回路

的各个电流元所产生的 dB 之矢量积分, 即

$$B = \oint dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{Idl \times r^0}{r^2}$$

对于体电流分布, 可用 JdV 代替上式中的 Idl , 其中, J 是电流密度矢量, dV 是体积元。于是, 毕奥-萨伐尔定律可写作

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_V \frac{J \times r^0}{r^2} dV$$

如果载流回路周围的空间中有媒质存在, 媒质的磁化效应将影响空间的磁场 (见磁场强度), 此时, 毕奥-萨伐尔定律失效。但从工程观点出发, 除铁磁材料以外, 其它媒质的磁化效应很弱, 常予忽略。因此, 只要不存在铁磁材料, 仍可应用毕奥-萨伐尔定律计算恒定电流建立的磁场。

(倪光正)

bihuan xitong

闭环系统 (closed-loop system) 见控制系统。

bianji chengxu

编辑程序 (editor) 用来建立文卷, 并对已有文卷进行插入、删除、改写、替换、剪贴和复制等加工处理的一种实用程序。插入是指在旧的文卷中增添若干字符或若干记录行; 删除则是把旧文件中的字符、字符串或字符块删去; 改写是用新字符代替原有字符; 替换用于新字符串代替原有字符串; 剪贴是将给定的信息块从老位置中删去, 把它插入到指定的文卷位置上; 复制则是将给定的信息块拷贝到指定的文卷位置上。

编辑程序可依据不同的用户环境分为交互式编辑程序和批处理编辑程序两类: ①交互式编辑程序。它由一系列编辑命令组成, 用户通过终端键入编辑命令以执行相应的编辑操作。②批处理编辑程序。用户使用编辑宏指令构造编辑文卷, 通过编辑文卷把编辑指令提供给编辑程序。

交互式编辑程序有两种操作方式: ①面向文卷行的行编辑方式。工作时先要找到编辑文卷的相应行, 然后才能进行编辑处理, 编辑光标也只能在当前行内移动。早期的编辑程序都属于这一类。它具有结构简单, 对系统环境要求低, 可移植性好等特点, 但使用不够方便。②全屏幕编辑方式。这种编辑程序将编辑命令以菜单形式显示在终端屏幕上, 工作时用户点用相应的菜单即可进行编辑操作。终端屏幕对于用户来说是一个“窗口”, “窗口”内的内容是当前文卷的可见部分, 用户可以通过换页操作使这个“窗口”上下或左右移动,

编辑光标亦可在屏幕上随意移动,因而具有较为舒适的操作环境和友善的用户界面。

编辑程序也可依据不同的编辑文卷内容分为三类:①正文编辑程序。它以字符和文字为操作对象,产生由字符和文字组成的文卷,可用其建立和加工程序文本和文稿。②图形编辑程序。它以图形信息为操作对象,具有图形生成、修改、变换、存取等功能,产生图形文卷。③正文和图形综合编辑程序。它将正文和图形信息在统一的环境下处理,编辑文卷可图文并举。

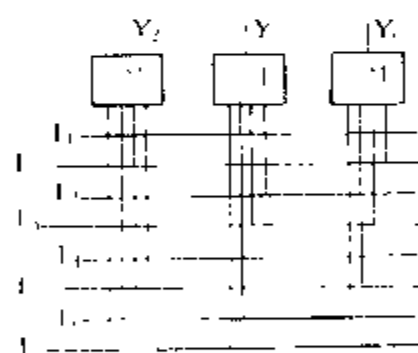
目前许多编辑程序除具有编辑功能外,还添加一些其他功能,用以增强处理能力。如有些编辑程序具有简单的排版功能和单词拼写纠错等功能,构成一个字处理软件;有些面向程序文卷的编辑程序,应用了语法制导技术以及人工智能技术,使程序开发更为方便;有些编辑程序采用了多窗口技术,将终端屏幕分为多个窗口,同时处理多个文卷,每一个文卷对应一个窗口,不同窗口内的文卷信息可相互传递。

(王泽兵)

bianmaqi

编码器 (encoder) 能将每一根输入线上的信号转换成输出端上的一个对应代码,即实现输入信号编码功能的组合逻辑电路。广泛用于逻辑电路中。

图示是一个8线—3线编码器的逻辑图,其中 I_0



8线—3线编码器的
逻辑图

$\sim I_7$ 是八个输入端, Y_2 、 Y_1 、 Y_0 是三个输出端。当在输入端加上逻辑1信号时,便在 Y_2 、 Y_1 、 Y_0 给出一个对应的三位二进制代码。输入信号与输出代码的对应关系如表1所示。

在图示编码电路中,任何时候只允许有一个输入信号是1,否

则电路不能正常工作。为克服这种局限性,便产生了优先编码器(priority encoder)。设计优先编码器电路时,预先把所有的输入信号按优先权的高、低排队,当两个以上输入信号同时为1时,只对其中优先权最高的一个进行编码。表2是8线—3线优先编码器功能表,表中的“×”表示既可以是逻辑0,也可以是逻辑1。从表2中不难看出,输入信号 I_7 的优先权最高, I_0 的优先权最低。例如当 $I_7=1$ 时,无论 $I_6\sim I_0$ 当中还有多少个是1,电路只对 I_7 进行编码,使输出为 $Y_2Y_1Y_0=111$ 。

表1 图中电路的功能表

I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	Y_2	Y_1	Y_0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

表2 8线—3线优先编码器的功能表

I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	Y_2	Y_1	Y_0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
×	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
×	×	1	0	0	0	0	0	0	1	0
×	×	×	1	0	0	0	0	0	1	1
×	×	×	×	1	0	0	0	1	0	0
×	×	×	×	×	1	0	0	1	0	1
×	×	×	×	×	×	1	0	1	1	0
×	×	×	×	×	×	×	1	1	1	1

(阎石)

bianyi chengxu

编译程序 (compiler) 把用高级程序设计语言书写的源程序翻译成等价的计算机低级程序设计语言表示的目标程序的程序。前者是面向入的高级语言,是源语言,后者是面向硬件(机器)的语言,是目标语言。在执行目标程序的计算机上,运行编译产生的目标程序,就可以得到源程序的执行结果。

工作原理 编译程序主要由两大部分组成:分析与综合。分析过程由词法分析、语法分析与语义分析三个阶段组成。

(1)词法分析:其任务由词法分析程序完成。词法分析程序读入源程序的字符,识别出一个个单词(包括标识符、常数、各种标点符号、运算符等),填造符号表,检查一致性,产生为编译下一阶段易于使用的源程序的内部形式——第一级中间语言表示的代码。

(2)语法分析:接收由词法分析输出的第一级中间语言程序,根据源语言的语法定义规则,分析源程序的语法结构,检查源程序的语法是否正确,还可以生成关于该源程序的语法树。语法分析是编译程序工作的控制核心。词法分析与语法分析都有很好的形式化模型,因此,给出源语言以后,可以自动生成该语言的词法分析与语法分析程序。词法分析的形式模型是有限状态

自动机, 语法分析的形式模型是下推自动机。

(3) 语义分析: 其目的是对语法树上的节点附上必要的反映其意义的语义特征信息, 把必要的信息收集和保存在符号表中, 对语法正确的程序进一步从语义上确定其是否合法, 进行必要的语义处理。因此, 这一阶段的输入是前一阶段的输出, 这一阶段的输出, 是比前一阶段高一级的中间语言代码, 是下一阶段的输入。语义分析的形式模型主要有属性文法 (attribute grammar) 与指称语义 (denotational semantics)。

综合部分的任务是根据分析产生的中间语言代码及符号表产生目标程序, 其中包括代码优化, 存储器分配, 目标指令选取。代码优化是通过重排中间语言代码, 达到节省目标程序的运行时间与存储空间的目的。

在编译过程的任何阶段, 都可能查出源程序的错误。为了尽可能多地一次性查出这些错误, 须进行必要的出错处理, 尽可能准确地查出错误及违反编译程序或硬件的限度的源程序位置来。

结构 如上所述, 编译过程可划分为词法分析、语法分析、语义分析、代码优化、存储分配和代码生成等逻辑步骤。可以按这几个步骤来设计编译程序的结构, 每个步骤组织成若干个任务单一的程序模块。可以按以上六个逻辑步骤的顺序控制这些程序模块的运行, 也可以按程序模块调用方式进行。在具体设计中, 常常把编译过程分为若干遍来实现。将源程序或中间语言代码, 从头至尾扫视一次, 并做所规定的工作称为一遍。一个编译程序分几遍实现, 要根据源语言的复杂程度、目标机大小及编译程序的人员分工情况来确定。

参考书目

陈火旺, 钱家骅, 孙永强编. 编译原理. 北京: 国防工业出版社, 1980

(李贻生)

bianfenfa

变分法 (calculus of variations) 研究泛函极值问题的数学方法。这里主要是说明变分法在最优控制中的应用。变分在泛函的研究中所起的作用, 与微分在函数的研究中所起的作用类似。

泛函的变分 设泛函 $J(x)$ 在 $x=x_0$ 处可微分, 即存在 $J'(x) \Big|_{x=x_0} = \frac{\partial J(x)}{\partial x} \Big|_{x=x_0}$, 则称 $(\Delta x)^T \cdot J'(x) \Big|_{x=x_0}$ 为泛函 $J(x)$ 在 $x=x_0$ 处的一阶变分 ($\Delta x = x - x_0$), 并表示成 $\delta J(x_0, \Delta x) = (\Delta x)^T \cdot J'(x) \Big|_{x=x_0}$ 。在任意 x 处, 则 $\delta J(x, \Delta x) = (\Delta x)^T \cdot J'(x)$ 。将 $J(x)$ 在 $x=x_0$ 邻域展开成泰勒级数 $J(x) = J(x) \Big|_{x=x_0} + (\Delta x)^T \cdot J'(x) \Big|_{x=x_0} + \dots$, 可见一阶变分为泛函增量的

线性主部。

泛函变分还可以由下式表示: $\delta J(x, \Delta x) = \frac{\partial}{\partial \epsilon} J(x + \epsilon \Delta x) \Big|_{\epsilon=0}$, 式中 ϵ 为参变量, 但不是时间函数。

二阶变分 $\delta^2 J(x, \Delta x) = \frac{\partial^2}{\partial \epsilon^2} J(x + \epsilon \Delta x) \Big|_{\epsilon=0}$ 。

泛函 $J(x)$ 在 x_0 处达到极小值的必要条件为

$$\delta J(x_0, \Delta x) = \frac{\partial}{\partial \epsilon} J(x_0 + \epsilon \Delta x) \Big|_{\epsilon=0} = 0 \quad (1)$$

其充分条件为式 (1) 成立且

$$\delta^2 J(x_0, \Delta x) = \frac{\partial^2}{\partial \epsilon^2} J(x_0 + \epsilon \Delta x) \Big|_{\epsilon=0} > 0 \quad (2)$$

泛函极值

固定边界的泛函极值 设泛函为积分型

$$J(x) = \int_{t_0}^{t_f} g[x(t), \dot{x}(t), t] dt \quad (3)$$

设 $x(t)$ 为一维变量, 在 $t \in [t_0, t_f]$ 区间上二次可导, 并且 $x(t_0) = x_0$ 和 $x(t_f) = x_f$ 均给定。

经过推导, 可得, 最优轨线 $x^*(t)$ 必须满足下述著名的欧拉-拉格朗日方程, 简称欧拉方程

$$\frac{\partial g(x^*, \dot{x}^*, t)}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial g(x^*, \dot{x}^*, t)}{\partial \dot{x}} \right] = 0 \quad (4)$$

欧拉方程是一个二阶微分方程, 求解过程中要确定两个积分常数, 因此要用到两个边界条件, 这里边界条件是 $x(t_0) = x_0$ 和 $x(t_f) = x_f$ 。

对于下列形式的被积函数 $g(x, \dot{x}), g(\dot{x}, t), g(\dot{x})$, 相应的欧拉方程求解较为容易。

可动边界的泛函极值 t_0 与 t_f 仍为固定, 边界点可以变动。在这种情形下, 欧拉方程仍然是必要条件。下列“横截条件”

$$\frac{\partial g(x^*, \dot{x}^*, t)}{\partial x} \Big|_{t_0=0}, \frac{\partial g(x^*, \dot{x}^*, t)}{\partial \dot{x}} \Big|_{t_f=0} \quad (5)$$

给出了边界条件。

终端状态及时刻自由的泛函极值 当终端状态可动、且终端时刻 t_f 为自由时, 欧拉方程仍须满足, 但应采用不同的边界条件及横截条件。

有约束条件的泛函极值问题 用拉格朗日乘子法转化为无约束条件问题来解决。

对于以上几种情况, 结论完全可以推广到 $x(t)$ 为向量的场合。

用变分法解最优控制问题 设系统状态方程为

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), t] \quad (6)$$

性能指标为

$$J = h[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} g[x(t), u(t), t] dt \quad (7)$$

并设, 初始时刻 t_0 及终端时刻 t_f 给定, $x(t_0) = x_0$, 终端状态不受约束, 求使 J 达到极值时的最优控制规律

$u^*(t)$ 及最优状态轨线 $x^*(t)$ 。

先用拉格朗日乘子法化成无约束条件问题，并定义哈密顿函数如下

$$H(x, u, \lambda, t) = g(x, u, t) + \lambda^T f(x, u, t) \quad (8)$$

即原问题化为求下列泛函的极值

$$J_0 = h[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} [H(x, u, \lambda, t) - \lambda^T \dot{x}] dt \quad (9)$$

可以根据泛函极值条件，写出变分的表达式，并令 $\delta J_0 = 0$ ，于是，要求下列诸式同时满足

$$\dot{x}^*(t) = \frac{\partial H(x^*, u^*, \lambda^*, t)}{\partial \lambda} \quad (10)$$

$$\lambda^*(t) = - \frac{\partial H(x^*, u^*, \lambda^*, t)}{\partial x} \quad (11)$$

$$\frac{\partial H(x^*, u^*, \lambda^*, t)}{\partial u} = 0 \quad (12)$$

$$\lambda^*(t_f) = \frac{\partial h[x^*(t_f), t_f]}{\partial x(t_f)} \quad (13)$$

这里，式(10)、式(11)、式(12)即为欧拉方程。其中，式(10)即状态方程，式(11)为共态方程，式(10)、式(11)合称为哈密顿正则方程（或规范方程）；式(12)为控制方程。式(13)为横截条件。联立求解式(10)至式(13)，可得 $u^*(t)$ 和 $x^*(t)$ 。

对于其他不同边界情况以及考虑存在终端等式约束等情况，可用类似的方法进行推导。

（于 渤）

bianhuanqishi dianbiao

变换器式电表 (transducer type meters)

将各种交流被测量，如电流、电压、功率、频率和功率因数等，经过变换电路转换成与其有一定函数关系的直流电流或电压，然后用磁电系测量机构进行测量的机械式指示电表。电表的刻度盘按被测交流量刻度。

变换器式电表包括整流式电表、变换器式电压表、变换器式功率因数表、变换器式频率表、变换器式功率表等。

整流式电表 采用半导体整流元件和磁电系表头组合而成。它通常包括半波整流电路或全波整流电路，如图1所示。图1(a)的线路中，电流只在半个周期中经过二极管V1及表头，另半周期的电流通过与表头并联的二极管V2。V2保护V1在反向时不被击穿。图1(b)为全波整流电路，由于两个半波都被利用，这时通过表头的电流增大一倍，从而提高了电表线路的灵敏度。

整流式电表是按正弦波有效值刻度。当被测量波形发生畸变时，将产生较大的误差。利用分流器可组或

大量程交流电流表，串联倍压电阻，可组成不同量程的交流电压表。

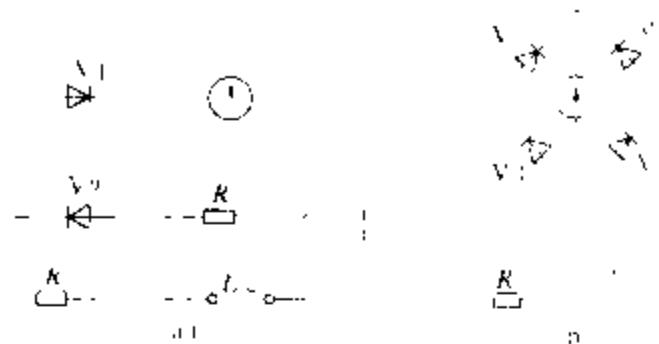


图1 整流式电表

(a) 半波整流；(b) 全波整流

变换器式电压表 被测交流电压通过变换器转换成成正比于电压有效值的直流电流，然后用磁电系表头测量。其原理框图如图2所示。为使其能正确地反映电压的有效值，变换器采用折线逼近式工作原理，其输出接以500 μ A或1 mA的磁电系表头。

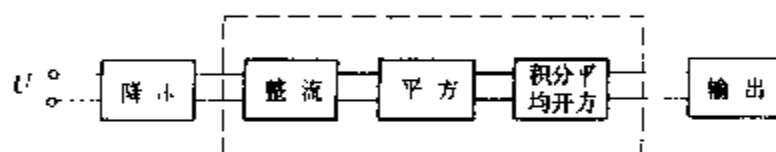


图2 变换器式电压表框图

变换器式功率因数表 利用变换电路将被测相位角（或功率因数）转换为相应大小的直流电流，然后用磁电系表头进行测量。

三相变换器式功率因数表是由相敏整流电路与中间指零的（具有双向偏转）磁电系表头组合而成，其变换电路如图3(a)所示。图中电阻 R_1 、 R_2 和稳压管V5、V6组成桥式线路，与分流电阻 R 并联的表头接在桥路的测量对角线上；二极管V1、V2用作输入电压 \dot{U}_{CB} 的半波整流电路；电阻 R_3 为降压电阻；二极管V3、V4用作电流回路的双向整流；电流互感器用来降低电流值。在一次线圈通以A相电流 \dot{I}_A 时，其二次线圈将产生与其成正比的电压 \dot{U}_{IA} 。

当只有电压 \dot{U}_{CB} 作用时，调节 R_1 使电表指零。当只通过电流 \dot{I}_A 时，对于正半周，二极管V3导通，所产生的电压在V5处稳压限幅。对于负半周，V4导通，在V6处稳压限幅，二极管V3和V4交替导通，使表头在一个周期内通过大小相等、方向相反的两个半波电流，因此无指示。

当将具有相位差 $\frac{\pi}{2} + \varphi$ 的电压 \dot{U}_{CB} 和电流 \dot{I}_A 同时接入电表时，则通过表头的电流的平均值 $I_0 \propto 2\varphi$ 。

如负载为纯电阻，即 $\varphi=0$ ，则通过表头的平均电流为零，表头指针处在中间位置。如负载为感性，则 $I_0 > 0$ ，指针向顺时针方向偏转；如负载为容性，则 $I_0 < 0$ ，指针向逆时针方向偏转。

0, 指针向逆时针方向偏转。这样, 表头刻度盘即可按功率因数(或相位)刻度。

用于测量单相电路的功率因数(或相位)时, 为使表头仍为双向偏转, 必须加入 $\pi/2$ 的网络, 如图 3(b) 虚线以左部分所示。相移网络的输入电压为电网电压, 输出电压在相位上超前输入电压 $\pi/2$ 。这时, 当负载为感性时, 表头指针向顺时针方向偏转; 负载为容性时, 指针向逆时针方向偏转。

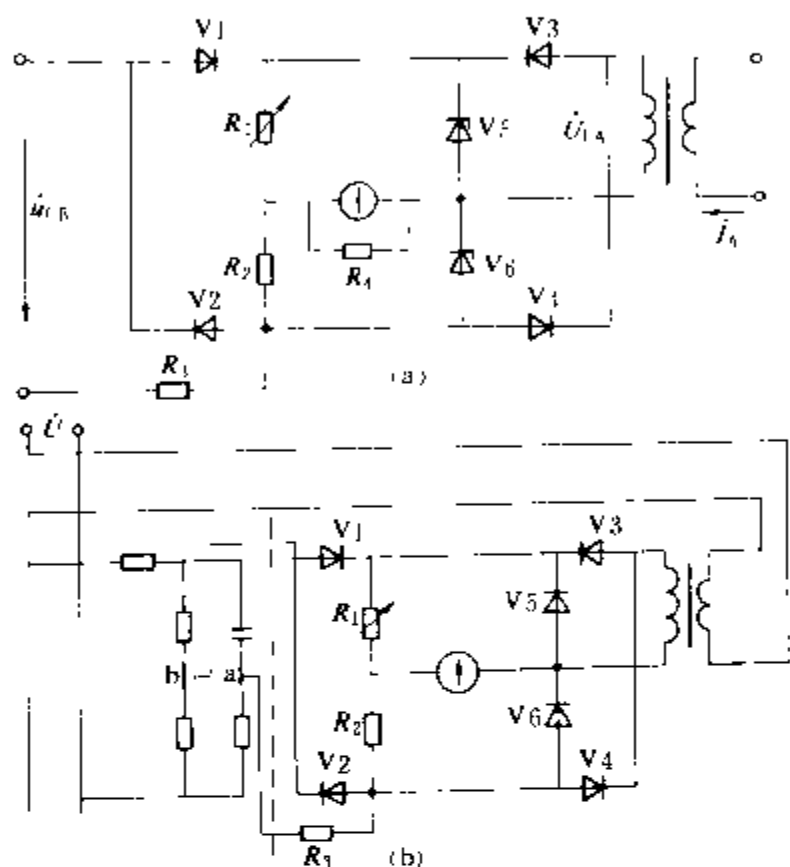


图 3 变换器式功率因数表

(a) 三相式; (b) 单相式

变换器式频率表 利用变换电路将被测频率转换为一定大小的直流电流, 然后用磁电系表头进行测量的电表。将频率转换成直流电流的方法很多, 常用的是充放电型变换电路, 其测量线路见图 4。图中 R_1 为降压电阻, 也作为稳压管 V_1 、 V_2 的调节电阻, 它们组成了降压整形(限幅)电路, 把被测频率为 f 的正弦波电压变成一个近似方波, 方波的幅值等于稳压管的稳压值 U_s 。当被测电压有变化时, 由于稳压管的作用, 输出方波幅值基本保持不变。

由微分电容 C 、整流二极管 V_3 和磁电系微安表头组成充放电电路。电解电容 C_1 起滤波作用; 对于稳定情况, 在被测电压的负半周, 电容 C 已充有电荷 CU_s , 极性如图所示。在电压随后的正半周, 有电流 i 通过电容 C 和表头, 使电容 C 先放电再反充到相反极性。如此, 通过表头的电荷为 $2CU_s$ 。由于充放电电路的时间常数 R_0C (R_0 为表头内阻) 比被测交流的周期小得多, 所以充电电流 i 实际为一尖脉冲。由于磁电系电表的转动惯量较大, 所以只反映充电电流的平均值; 其一秒的平均值 $I_{av} = 2U_sCf$ 。由于 U_s 和 C 不变, 则平

均电流与被测频率成正比。因此磁电系表头的指示也反映被测频率的数值。

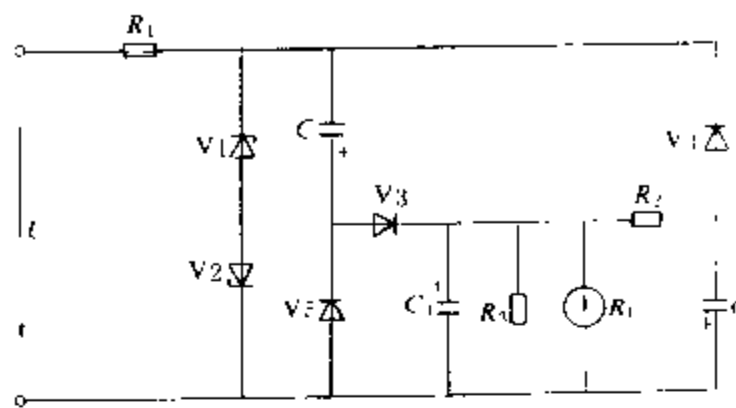


图 4 变换器式频率表

变换器式频率表大多为配电盘式电表, 用于测电网的频率, 其测量范围通常为 $45 \sim 55$ Hz。为了使电表刻度的起始点为 45 Hz, 在电表中加入一个下量限调整电路(即偏置电路)。它是由电容 C_2 、磁电系表头、电阻 R_2 和二极管 V_4 构成。在稳压管两端电压 U_s 为负半周时, 二极管 V_4 导通, 表头中有与 I_{av} 方向相反的电流流过, 同时对电容 C_2 充电, 其极性为下正上负。当 U_s 为正半周时, 电容 C_2 对 R_2 放电, 其方向与 I_{av} 仍相反。总的反向电流平均值为 I_2 。调节电阻 R_2 使 I_2 等于 45 Hz 时的 I_{av} 。这样, 当被测频率为 45 Hz 时通过表头的平均电流为零, 电表指示在零位上。电表的机械零位对应频率为 45 Hz。当频率增加时, I_{av} 增大, 调节电阻 R_2 使被测频率为 55 Hz 时, 电流平均值为满偏转电流, 则频率表的测量范围为 $45 \sim 55$ Hz。

(高光润)

bianhuanqishi dianyabiao

变换器式电压表 (transducer type voltmeter) 见变换器式电表。

bianhuanqishi gonglubiabiao

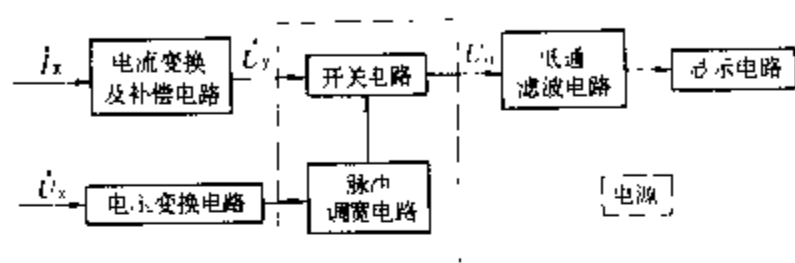
变换器式功率表 (transducer type wattmeter) 通过变换电路将被测交流功率变换成相应的直流电流或电压, 用磁电系测量机构进行测量的电表。

由于采用磁电系测量机构作为显示器, 因此保留了磁电系电表的优点, 而且使电表生产工艺大为简化。随着电子器件集成度的提高, 可以将变换电路集成在一个芯片上, 从而节约了装配时间, 提高了电表的稳定性和可靠性。

变换器式功率表有多种原理性结构, 这里仅介绍时分割乘法器式的结构。

具有时分割乘法器原理的功率变换电路的框图如图所示。电流变换及补偿电路将被测电流 i 通过电流互感器变换成电压 \dot{U}_i , 并利用阻容移相网络补偿被测

电压 \dot{U}_x 与被测电流 \dot{I}_x 之间在变换过程中产生的相位误差。电压变换电路将被测电压 \dot{U}_x 通过分压电路变换成与被测电压成比例的电压, 输入脉冲调宽电路。时分割乘法器是由脉冲调宽电路和开关电路组成 (如图中虚线框内所示)。它完成被测电压与被测电流的乘法运算, 输出电压 U_o 经低通滤波器变成直流电流 (或电压), 由显示器 (表头) 显示被测功率的大小。电源供给整个电表所需电压。



时分割乘法器变换器式功率表原理图

时分割乘法器的脉冲调宽电路是由积分器和方波发生器组成。被测电压通过变换加到积分器上进行积分, 经方波发生器产生一个脉宽可改变的方波。此方波反馈到积分器的输入端作为调制信号。经过与被测信号总加之后, 使方波发生器输出方波的宽度正比于被测电压 U_x 。输出方波同时作为开关电路的控制信号, 控制反映被测电流的电压 U_y 的通断, 从而使时分割乘法器输出电压 U_o , 既与被测电压 U_x 成正比, 也与电流电压 U_y 成正比, 即完成 $U_x \cdot U_y$ 的乘法运算, 输出电压 U_o 正比于被测功率 $U_o = K \int_0^T U_x \cdot U_y dt =$

$K' \int_0^T U_x I_x dt$, 即被测交流电压、电流瞬时值在整个周期的积分, 其平均直流信号正比于有功功率。

具有时分割乘法器原理的功率表的优点是准确度高, 但结构较复杂, 所用元器件较多, 成本较昂贵。

(高光润)

bianhuoqishi gongluyinshubiao

变换器式功率因数表 (transducer type power factormeter) 见变换器式电表。

bianhuoqishi pinljbiao

变换器式频率表 (transducer type frequency meter) 见变换器式电表。

bianliang - tifulu

变量-梯度法 (variable - gradient method)

对非线性系统 $\dot{x} = f(x)$, $f(0) = 0$ 选择李雅普诺夫函数的一种方法。

令 $V(x)$ 为一备择的李雅普诺夫函数 (见李雅普诺夫方法), $\dot{V}(x)$ 可表示为

$$\dot{V}(x) = \frac{\partial V}{\partial x_1} \dot{x}_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2} \dot{x}_2 + \cdots + \frac{\partial V}{\partial x_n} \dot{x}_n \quad (1)$$

$$\text{令 } g(x) = \text{grad} V(x) = \begin{bmatrix} \partial V / \partial x_1 \\ \partial V / \partial x_2 \\ \vdots \\ \partial V / \partial x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(x) \\ g_2(x) \\ \vdots \\ g_n(x) \end{bmatrix} \quad (2)$$

于是, 式 (1) 可写作

$$\dot{V}(x) = [g(x)]^T \dot{x} \quad (3)$$

对上式两边积分, 可得李雅普诺夫函数

$$\begin{aligned} V(x) &= \int_0^t \frac{dV(x)}{dt} dt \\ &= \int_0^t [g(x)]^T \frac{dx}{dt} dt \\ &= \int_0^t [g(x)]^T dx \end{aligned} \quad (4)$$

这是从状态空间原点到一任意点 (x_1, x_2, \cdots, x_n) 的线积分。由式 (3) 有 $[g(x)]^T dx = dV(x)$, 式 (4) 中的积分与积分路径无关。最简单的积分路径是沿状态分量 x 的诸分量方向 (x_1, x_2, \cdots, x_n) 顺序进行式 (4) 中积分的计算, 即

$$\begin{aligned} V(x) &= \int_0^t [g(x)]^T dx = \int_0^{x_1} g_1(\theta_1, 0, 0, \cdots, 0, 0) d\theta_1 \\ &\quad + \int_0^{x_2} g_2(x_1, \theta_2, 0, \cdots, 0, 0) d\theta_2 + \cdots \\ &\quad + \int_0^{x_n} g_n(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_{n-1}, \theta_n) d\theta_n \end{aligned} \quad (5)$$

于是, 变量-梯度法工作就要选择一向量函数 $g(x)$ 并将这一函数按式 (5) 积分以获得标量函数 $V(x)$ 。一连续向量 $g(x)$ 要作为一标量函数 $V(x)$ 的梯度, 必须有

$$\partial g_i / \partial x_j = \partial g_j / \partial x_i; \quad i, j = 1, 2, \cdots, n \quad (6)$$

构造一李雅普诺夫函数的步骤如下。

(1) 对于梯度向量 $g(x)$, 先假设为如下形式

$$g(x) = \begin{bmatrix} g_1(x) \\ g_2(x) \\ \vdots \\ g_n(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \\ \cdots \cdots \cdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

a_{ij} 待选, 可以是常数, 也可以是状态变量和 t 的函数, 选常数较为方便。

(2) 经式 (3) 构造 \dot{V} , 选诸 a_{ij} 使它负定, 至少负半定。

(3) 确定其他的 a_{ij} , 以满足式 (6)。

(4) 校核 \dot{V} , 因为步骤 (3) 可能改变了它的符号确定性。

(5) 用式 (5) 积分以确定 V 。

(6) 确定系统的平衡状态稳定的范围。

例如用变量-梯度法构造下述系统的李雅普诺夫函数: $\dot{x}_1 = -x_1 + 2x_1^2x_2$; $\dot{x}_2 = -x_2$, 则首先设 V 的梯度为

$$g(x) = \begin{bmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \\ a_{21}x_1 + 2x_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= (a_{11}x_1 + a_{12}x_2) \dot{x}_1 + (a_{21}x_1 + 2x_2) \dot{x}_2 \\ &= -a_{11}x_1^2 + 2a_{11}x_1^2x_2 - a_{12}x_1x_2 \\ &\quad + 2a_{12}x_1^2x_2^2 - a_{21}x_1x_2 - 2x_2^2 \end{aligned}$$

试取 $a_{11}=1, a_{12}=a_{21}=0$, 则 $\dot{V} = -x_1^2(1-2x_1x_2) - 2x_2^2$ 。若 $1-2x_1x_2 > 0$, 则 \dot{V} 负定, 这就是约束条件。

这时, $g(x) = \begin{bmatrix} x_1 \\ 2x_2 \end{bmatrix}$, $\partial g_1/\partial x_2 = \partial g_2/\partial x_1 = 0$, 满足式

(6)。于是得 $V = \int_0^{x_1} \theta_1 d\theta_1 + \int_0^{x_2} 2\theta_2 d\theta_2 = \frac{1}{2}x_1^2 + x_2^2$ 。在 $1-2x_1x_2 > 0$ 范围内, 系统的平衡状态是稳定的。

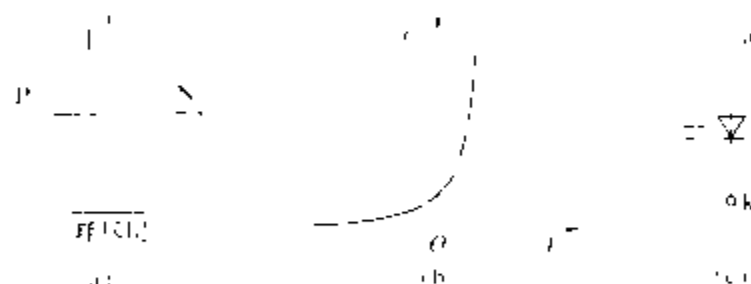
若另取 $a_{11} = \frac{2}{(1-x_1x_2)^2}$, $a_{12} = \frac{-x_1^2}{(1-x_1x_2)^2}$, $a_{21} = \frac{x_1^2}{(1-x_1x_2)^2}$, 则可求得另一个 V 函数 $\frac{x_1^2}{1-x_1x_2} + x_2^2$, 约束条件为 $1-x_1x_2 > 0$, 比前一个还好。

(邱家驹)

bianrong erjiguan

变容二极管 (variable capacitance diode; varactor) 用作受电压控制的电容器的半导体二极管。

如图 (a) 所示, 由于在 PN 结上加上了反向偏压, 形成了耗尽区, 在耗尽区的两侧都有电荷, 因而它的特性就像一个平板电容器一样。



变容二极管

(a) 原理图; (b) 容压特性; (c) 图形符号

耗尽层的厚度随所加的反向偏压而变化, 可以改变反向偏压来形成一个可变结型电容器。对于一个突变型 PN 结, 结的可变电容 C_j 为

$$C_j = \frac{C_0}{(U_i + |U|)^{1/2}}$$

式中, C_0 是一个与掺杂量及结面积有关的常数; U_i 是 1V 左右的结内电压; $|U|$ 是反向偏压的模。

对于缓变结型二极管, 要用立方根符号代替上式

中的平方根符号。对于突变型结, C_j 的典型值在 50 pF 和 100 pF 之间变化; 而对于缓变型结, C_j 的典型值为 5~50 pF, 典型容压特性如图 (b) 所示, 图 (c) 是它的代表符号。

变容二极管在产生调频信号的调频器中和作低噪声放大的参数放大器中得到了广泛应用。

(康华光)

bianxieji

便携机 (portable computer) 一种轻便可携带的个人微型计算机。这是个人微型计算机向更加轻、薄、短、小发展而形成的计算机。

20 世纪 80 年代初推出手提式微型计算机, 但限于当时的技术水平, 性能、结构并不理想。80 年代中先后推出使用双软盘驱动器的便携机及有硬盘驱动器的便携机, 使手提式计算机达到了台式机的功能。进入 90 年代, 笔记本型计算机已采用了 32 位高速微处理器芯片, 几百兆字节的超薄、小直径硬盘; 真彩色液晶显示屏。还提供标准扩展插槽, 可配置传真/调制解调器卡和网络卡等。可提供多媒体功能的扩展。

便携机按体积和重量的大小有: 可移动式、膝上型、笔记本型、口袋型、掌上型、笔型等几种。

与便携机相关的技术有处理器芯片和必要的配套设备。①高性能的处理器芯片。②小体积、大容量硬盘。③便携小型打印机。④薄膜晶体管或超扭曲的彩色液晶显示器。⑤大容量电池。⑥微组装技术。

(张德馨 吴继东)

biaozhun dianchi

标准电池 (standard cell) 保存和传递电压单位伏特的量值的量具或用于精密仪器中作为提供标准电压值的元件。

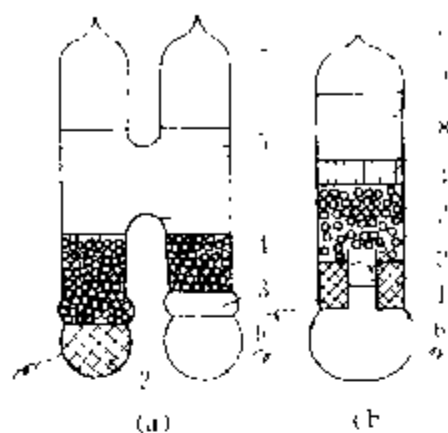
标准电池利用化学反应产生电动势。按硫酸镉电解液的浓度, 分为饱和与不饱和电池。标准电池一般采用 H 型结构, 也有制成单管型结构的 (见图)。

标准电池的电动势值随温度的变化而变化, 饱和标准电池正极的温度系数约为 $+310 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 负极的温度系数约为 $-350 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。在 20°C 下标准电池的温度系数约为 $-40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。中国提出的在 $0\sim 40^\circ\text{C}$ 范围内, 标准电池“电动势—温度”的公式为 $E_t = E_{20} - 39.94 \times 10^{-6}(t-20) - 0.929 \times 10^{-6}(t-20)^2 + 0.0090 \times 10^{-6}(t-20)^3 - 0.00006 \times 10^{-6}(t-20)^4$ (V)。不饱和标准电池正、负极温度系数相互补偿, 故 20°C 下的温度系数约为 $-1\sim -5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

当温度发生突变时, 标准电池电动势不能随温度变化而迅速变化, 需要一定时间才达到新温度下的电

动势值, 这种现象称为滞后效应。

饱和标准电池具有良好的稳定性, 常作为标准量



饱和标准电池

(a) H型结构; (b) 单管型结构

1—汞 (电池正极); 2—10% 汞
膏 (电池负极); 3—硫酸亚汞 (去
极化剂); 4—硫酸汞结晶体; 5—硫
酸汞饱和溶液; 6—铂引线; 7—玻
璃容器; 8—微孔塞片

具; 不饱和标准电池
稳定性较差, 常用作
携带型仪器的内附标
准。

检定和使用标准
电池时, 温度必须恒
定, 且应保持标准电
池正负极处于同一温
度。若两极间温度差
 0.1°C , 约有 $30\ \mu\text{V}$ 的
电动势偏差。

要防止标准电池
过量充放电, 否则会
因极化而引起电动势
不稳定。绝不允许用
仪表测量标准电池电

动势, 更不能接错极性。

标准电池不应受到阳光、灯光直接照射并不得受
激烈震动。

近年来, 利用齐纳二极管的端电压与反向电流在
小范围内波动几乎无关的特性, 可将其作为新的电动
势标准, 用于仪器中代替标准电池。

(张少伟)

biaozhun dianganqi

标准电感器 (standard inductor) 用于保
存和传递电感单位亨利量值的标准量具。包括标准
电感器及标准互感器, 在交流电磁测量中常用作自感
及互感的标准量具, 或安装在电磁测量仪器中作为精
密自感及互感元件。标准互感器也常用于测磁工作中。

标准电感器的量值通常是 10 进制的, 其电感量范
围一般为 $1\ \mu\text{H}$ 到 $1\ \text{H}$, 特殊情况下也可做成更小或更
大的数值, 或非十进制数值。

作为计量标准用的标准电感器, 按其在量值传递
系统中的位置分为国家基准, 工作基准及一般的标准
量具三档。较低档标准电感器的量值由较高档传递。

电感标准量具按准确度分级。中国的标准电感器
从 0.01 至 1.0 级共分为 7 个级别。例如 0.01 级标准
电感器的误差低于 0.01% 。

标准电感器是有骨架的线圈, 骨架采用具有良好的
绝缘性能及几何尺寸稳定的材料, 如大理石、高频
瓷、优质硬塑料等。外壳及端钮均应选用非磁性的材
料。标准自感器只由一个单层或多层线圈构成; 标准互
感器则有一次和二次两个线圈, 结构稍复杂一些。

标准电感器线圈的电阻及分布电容对其性能有较
大的影响。图 1 中画出了考虑

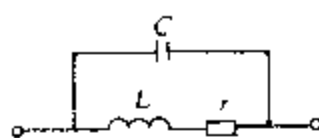


图 1 标准自感器
的等效电路

这些因素后标准自感器的等效
电路。线圈电阻 r 使标准自感
器的品质因数 $Q\left(=\frac{\omega L}{r}\right)$ 值降

低, 在频率较低时尤为严重。分

布电容 C 则使自感量随频率而变化; 频率较高时, 更
为明显。图 2 为标准互感器的等效电路, 线圈电阻及分
布电容也同样存在。值得注意的是线圈电阻 r_1 和 r_2 对
互感值的影响很小,

因此当一次侧电流为
正弦交流时, 二次侧
的开路电压与一次侧
电流的相位差很接近
 90° 。所以标准互感器
也常用作标准的 90°
移相器使用。标准互
感器的另一种重要用途是在磁测量中给出标准磁通
量。

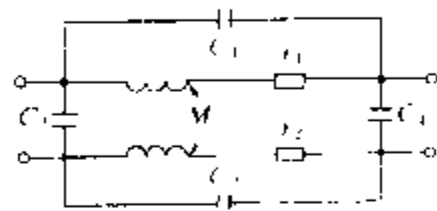


图 2 标准互感器的
等效电路

如上所述, 标准电感器的分布电容等寄生参数会
使电感量随频率而变, 所以其工作频率应尽量与检定
时的频率一致。

使用标准电感器时应注意不使其工作电流超过允
许值。标准电感器应和周围的铁磁及金属物体保持较
远的距离, 并避免杂散磁场的影响。对于寄生耦合引起
的误差可以用交换端钮接线的方法来消除。

标准电感箱是把多个名义值的标准电感器元件组
合在一起构成的, 用开关切换可得到十进制的可变电
感值。

(张钟华)

biaozhun diannengbiao

标准电能表 (standard kWhmeter; rotating
standard) 校验普通电能表用的准确级别较高的
电能表。有感应系标准电能表及电子式标准电能表
两种。

感应系标准电能表 工作原理与普通电能表相
同, 在结构上制成携带式的。它的计数机构为三位指针
式 (也有脉冲数显式的), 指示圆盘转数从 0.01 转至
100 转 (见图 1)。起动和停止机构有两种形式: 一种
是在圆盘连续转动的情况下, 利用电磁铁将计数机构与
圆盘间的传动装置分离或连接, 同时对计数机构制动;
另一种是切断或接通电压线圈的电压, 使圆盘停止或
起动。计数机构设有复零装置, 能使计数指示全部复
零。标准电能表制或多规格的, 如电压为 $120\ \text{V}$ 及 240

V, 电流为 1.5 A 及 10 A 等。有单相、三相三线及三相四线标准电能表。

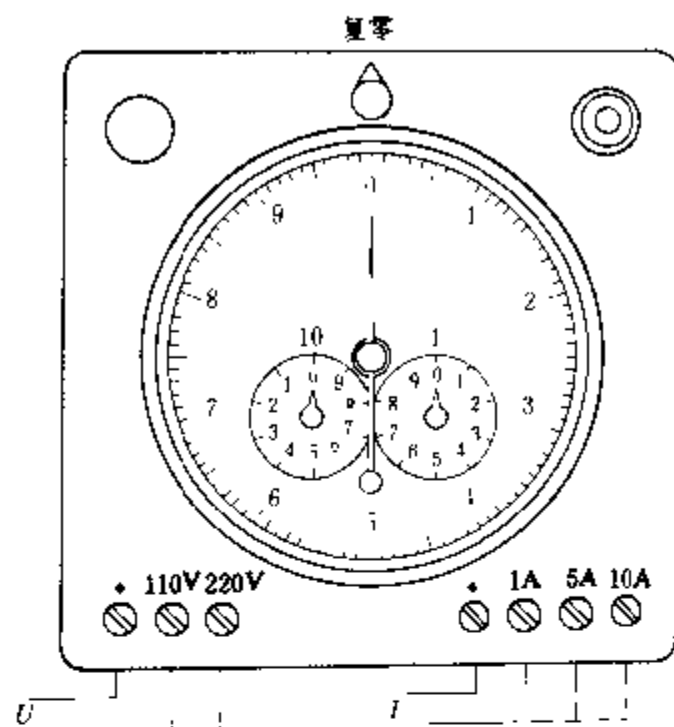


图1 指针式标准电能表外形图

感应系标准电能表的准确级别为 0.5 及 0.2 级。在电流为标定值的 20%~120%、 $\cos\varphi=1$ 及 50%~120%、 $\cos\varphi=0.5$ (滞后) 时, 相对误差小于准确级指数百分数 (即准确级别值乘以%)。环境温度每改变 10℃, 频率改变额定值的 $\pm 5\%$, 电压改变额定值的 $\pm 10\%$ 时, 误差改变小于准确级指数百分数。自热特性在标准电能表使用上很重要, 要求预热时间短, 一般为 30 min。

电子式标准电能表 其准确度较高, 可能取代感应系标准电能表。电子式标准电能表有多种原理和结构, 但综合起来可由四个基本环节组成, 如图 2 的方框图所示。每一个方框都可由几种不同的原理和线路来实现。

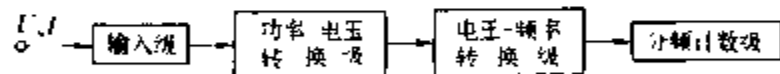


图2 电子式标准电能表方框图

输入级 采用分压法或互感器法, 将线路电压和负载电流分别转换为成比例的低电压, 输送至下一级。

功率—电压转换级 采用乘法器将输入的两个参量转换为其乘积值 (即功率), 再把功率转换为与之成正比的电压后, 送至下一级。乘法器有许多种, 常用的有时分割乘法器等。

电压—频率转换级 采用积分方式, 把输入电压转换为与之或正比的频率后, 再送至下一级。电压—频率转换的原理及线路有许多种, 如恒流反馈式电压—频率转换等。

分频计数级 采用分频器降低输入的脉冲频率以便于计数, 如 2 Hz、2 kHz、6 kHz 等。计数器可采用

数字计数器或机械式计数器。分频后设有单独的输出端钮, 供自动校验用。

电子式标准电能表准确级别为 0.1 及 0.05 级。在额定条件下, 当电流为标定值的 80%~120%、 $\cos\varphi=1.0$ 、 $\cos\varphi=0.5$ (滞后) 及 $\cos\varphi=0.8$ (领先) 时, 相对误差均小于准确级指数百分数。当线路电压改变额定值的 $\pm 10\%$ 、频率改变额定值的 $\pm 5\%$ 时, 误差改变均小于准确级指数百分数的 30%。当环境温度改变 10℃, 误差改变小于准确级指数百分数。

(程世镐)

biaozhun dianrongqi

标准电容器 (standard capacitor) 用于保存和传递电容单位法拉的量值的标准量具。其用途为在交流测量中作为电容标准量具, 或安装在电测量仪器中作为精密电容元件。

标准电容器的量值通常是 10 进制的, 其电容量范围一般为 1 pF 到 1 μ F, 特殊情况下也可以做成更小或更大的数值, 或非十进制数值。

作为计量标准用的标准电容器, 按其在量值传递系统中的位置分为计量基准, 计量标准及一般的工作标准量具三档, 较低档标准电容器的量值由较高档的传递。

电容标准量具按准确度分级。中国的标准电容器从 0.01 至 0.2 级共分为 5 个级别。

标准电容器所采用的电极形式及介质与其电容量值有关, 10 pF 以下的小容量标准电容器常采用空气密封同轴圆柱形电极的结构。其优点是稳定性好, 但其电容量不易做大, 因此 100~1000 pF 的标准电容器常采用多层平极型空气电容器。大于 1000 pF 的标准电容器如仍采用平极型空气结构, 则相当笨重, 因而常采用云母镀银电容器。10~100 μ F 的标准电容器常采用表面金属化的有机绝缘薄膜作介质, 以减小体积。100 μ F 以上的标准电容器不易制作, 常采用带有耦合变压器或运算放大器的等效大电容方式, 等效电容量可高达 1 F 以上。

电容器内的介质在交变电场中要吸收一定的能量, 反映为电容器的容抗有损耗分量。此种分量可以用并联在电容器上的电导 G 表示, 如图 1 所示。比值 $\tan\delta = \frac{G}{\omega C}$ 称为电容器的损耗因数。对标准电容器, $\tan\delta$ 应接近于零。

标准电容箱是把多个名义值的标准电容元件组合在一起形成的, 用开关切换可得到十进制的可变电容

值。

使用标准电容器时,应注意不使其工作电压超过允许值。对小容量标准电容器,要仔细考虑屏蔽防护措施,以去除各种寄生的杂散电容的影响。在交流电路中使用大容量标准电容器时,应注意引线带来的误差。

(张钟华)

biaozhun dianzuqi

标准电阻器 (standard resistor) 保存和传递电阻单位欧姆的量值的标准量具。常用于交、直流测量中作为电阻标准量具,或安装在电测量仪器中作为精密电阻元件。

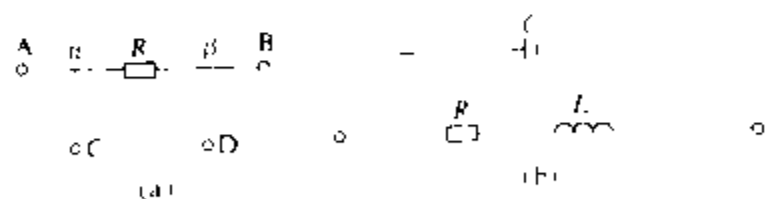
标准电阻器的量值通常是10进制的,其阻值范围为1 mΩ到1 MΩ,特殊情况下也可做成非十进制数值。

作为计量标准用的标准电阻器,按其在量值传递系统中的位置分为国家电阻基准、电阻副基准、电阻工作基准、一等标准电阻器、二等标准电阻器及一般的标准电阻器六档。较低档标准电阻器的量值由较高档的传递。

为了使用方便,标准电阻器的准确度也常用级别表示。例如0.01级标准电阻器的误差低于±0.01%。中国的标准电阻器从0.0005级起至0.2级,共分为17个级别。

标准电阻器一般用温度系数低、稳定度高的锰铜合金丝(片)绕在黄铜或其他材料的骨架上,再套上铜制外壳而制成。外壳和骨架通常焊在一起,把电阻丝密封起来,以减少大气中的湿度、气压等因素的影响。电阻器绕成后需经退火处理,以消除绕制过程中产生的机械应力,从而改善其稳定性。电阻器的引线经密封的陶瓷绝缘于引出,与装在面板上的端钮相接。

标准电阻器通常做成四端钮式的,如图(a)所示。



四端标准电阻器及等值电路

(a) 四端标准电阻器; (b) 等值电路

A、B为电流端,C、D为电位端;测量时应使电位端不流过电流,这样C、D两个端钮的电位就分别等于α、β两点的电位,从而消除了Aα、Ca、Bβ、Dβ四条引线的电阻以及端钮处的接触电阻的影响。

对于在交流电路中使用的标准电阻器,除了其电阻值外,还需考虑其自感L及分布电容C,如图(b)

所示。为了减少自感L,可采用双线绕法,但对100 kΩ以上的高值电阻器,双线绕法会导致较大的分布电容,因而多用分段绕法,使自感及分布电容均较小。骨架也常使用云母、陶瓷等优质绝缘材料,以进一步减少分布电容及介质损耗。

标准电阻箱是把多个名义值的标准电阻元件组合在一起形成的。用开关切换可得到十进制的可变电阻值。

使用标准电阻器时,要避免机械冲击及剧烈的温度变化。耗散功率一般应小于0.1 W,以保持其良好的稳定性。

(张钟华)

biaochaazhao suanfa

表查找算法 (table lookup algorithms)

有关表的各种查找算法。它是计算机系统中最常用的算法之一。表是记录的集合,记录中可包含有处理过程中反复使用的“控制”信息字段,这种字段称为关键字。查找过程是将关键字中信息与某一值(一给定值或者某一文件当前记录的关键字信息等)比较,直到匹配成功或者整张表查完为止。根据表的结构和使用要求,常用的查找技术有顺序搜索、归并搜索、二分搜索、直接查找四种。

(1) 顺序搜索。从表的起始位置(或某一指定位置)开始,向下依次地将各记录关键字与当前文件记录关键字比较进行查找。这种查找方法简单,易于编写程序,但查找速度慢。

(2) 归并搜索。也是一种顺序搜索,查找是对一张表和一个文件进行的,要求表和文件的记录均已按关键字递增排序(或递减排序)。归并搜索的过程如下:先对文件第一个记录的关键字与表的第一项的关键字进行比较,若匹配未成功,继续对表中下一项进行搜索,直到一个相等的或较大的关键字的表项被找到,若较大,表明表中无此当前文件记录关键字值,继续对文件下一记录重复上述动作。如果相等,对记录进行处理,而后考察下一个文件记录。显然,此时不必从表端开始,只需从前一搜索的终止位置继续下去即可。当表和文件都已排序时,归并搜索是最快的方法。该方法不需要把表全都放入内存中,可以分块调入,因此对于信息量大的表,需要用外存储器存放时,归并技术特别有效。

(3) 二分搜索。见二分搜索法。

(4) 直接查找。将关键字进行变换计算出相应表项位置的一种查找方法,通常使用的是散列技术。它适用于关键字取值范围大而实际使用范围有限的场合,见散列算法。

上述的查找技术都是基于传统的编址计算机的。在关联存储的计算机体系结构中,因为表记录地址与其关键字是一致的,此时表查找(从概念上)将成为直接检索。

(陈增武)

biaoge fa

表格法 (tableau analysis) 用电路中全部支路电流、支路电压和一组辅助变量作为待求量以求解电路问题的方法。这组辅助变量通常采用节点电压(也可用树支电压或连支电流)。设连通电路中支路数为 b ,节点数为 n ,则未知量数和列写方程式数均为 $2b+n-1$ 。这种方法宜用于计算机求解电路,方程数虽多但列写方法规则简单,且方程的系数矩阵中零元素较多,一般称为稀疏矩阵,可应用稀疏矩阵算法求解联立方程。

例如图示为一含理想变压器的正弦交流电路,支

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_2 & -N_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_1 & N_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -r & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{j\omega C} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_W \begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \vdots \\ \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 \\ \dot{U}_5 \\ \dot{U}_6 \\ \vdots \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \\ \dot{I}_5 \\ \dot{I}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_s \end{bmatrix}$$



含有理想变压器的正弦交流电路

路数 $b=6$,节点数 $n=3$,支路电流有 $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{I}_4, \dot{I}_5, \dot{I}_6$,支路电压有 $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3, \dot{U}_4, \dot{U}_5, \dot{U}_6$,加上节点电压 \dot{V}_1, \dot{V}_2 共 $2b+n-1=14$ 个待求量。由基尔霍夫第一定律,得

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 + \dot{I}_3 + \dot{I}_5 &= 0 \\ \dot{I}_2 + \dot{I}_4 + \dot{I}_6 &= 0 \end{aligned}$$

由基尔霍夫第二定律,得

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{V}_1, \quad \dot{U}_3 = \dot{V}_1, \quad \dot{U}_5 = \dot{V}_1 \\ \dot{U}_2 &= \dot{V}_2, \quad \dot{U}_4 = \dot{V}_2, \quad \dot{U}_6 = \dot{V}_2 \end{aligned}$$

由支路约束,得

$$\begin{aligned} N_2 \dot{U}_1 - N_1 \dot{U}_2 &= 0, \quad N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = 0, \\ \dot{U}_3 - R \dot{I}_3 &= 0 \end{aligned}$$

$$\dot{I}_4 - r \dot{U}_3 = 0, \quad \dot{U}_5 - \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_5 = 0, \quad \dot{U}_6 = \dot{U}_s$$

其中 N_1, N_2 为变压器的匝数, R, r, C 为电路参数。

上述联立方程,可用矩阵形式表示为

系数矩阵 W 中有196个元素,零元素占167个, W 是稀疏矩阵。由网络图论可知,上述方程可系统化表示为

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & A \\ -A^T & 1 & 0 \\ 0 & M & N \end{bmatrix}}_W \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{U} \\ \dot{I} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{U}_s \end{bmatrix}$$

上述表格法中,若将节点电压未知量改用树支电压或连支电流,则可得出相应的以割集矩阵 Q 或回路矩阵

B 表示的电路方程。

在表格法中,建立系数矩阵 W 的规则很简单,相当于填写一张表格,易于用计算机来完成。而且这一方法通用性强,因此,随着计算机的广泛应用,在求解大规模电路中日益受到重视。

(陈允康)

biaojiegou

表结构 (lists) 由数据元素组成的序列所构成的一种数据结构,简称为表。其元素可以是结构较简单的数据(如整数、实数、字符串、记录等单元素),也可以是表结构的数据(子表)。构成表的元素可以是该表本身,因此表结构是递归定义的。表结构应用广泛,用于人工智能等领域的表处理语言 LISP,把表作为它的基本数据结构,就连用它编写的程序也表示为一系列的表。

由于表中的数据元素可以不同构(单元素或子表),故可以构成各种各样的表。例如:①多层次结构的表:表的元素是子表,子表的元素还可以是子表;②共享表:一个表可以同时是其他若干个表的元素;③递归表:一个表为其本身的一个元素。对于元素不同构的表,通常采用链式存储结构。

在程序设计中,最常用的表结构有线性表、字符串和数组。

线性表 同一数据类型的单元素组成的表。此时每一元素可对应一个序号。对线性表的基本操作有:存取某一序号的元素,在两个相邻元素之间(也包括在表头或表尾)插入一个元素,删除某一元素等。无插入删除操作的表称为静态表,可采用顺序存储结构表示。有插入和删除操作的表称为动态表,可采用链式存储结构或顺序存储结构。根据插入和删除方式不同,动态线性表又分为:①栈:只能在表的同一端进行插入和删除的线性表;②队列:只能在表的一端进行插入,而在表的另一端进行删除的线性表;③一般的动态线性表:允许在表的任意位置进行插入和删除。

字符串 以字符作为元素的表,即字符序列。它是计算机非数值处理的基本对象。字符串中字符的个数称为串的长度,字符串中任意个连续的字符组成的子序列称为该串的子串。对字符串的基本操作有:取子串,子串的替换、插入和删除,两个子串的联结和比较等。字符串的顺序存储结构有紧缩格式和非紧缩格式两类。

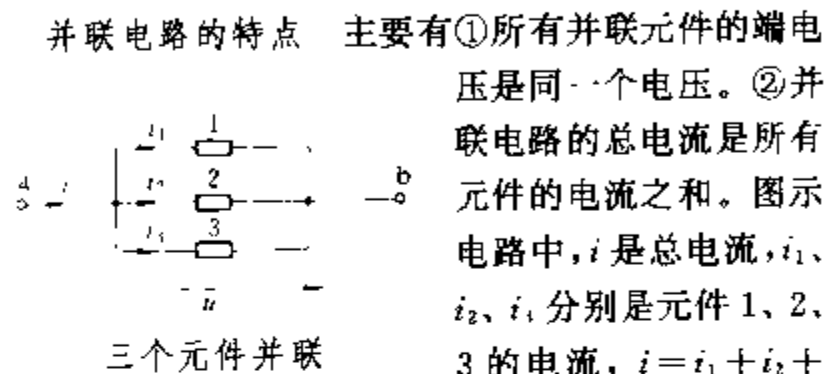
数组 由同一类型的线性表(其元素的数据类型和个数均相同)组成的多层次表。数组结构的层次称为数组的维数。线性表是一维数组,以线性表为元素的一维数组是二维数组,……。例如矩阵就是二维数组。由于

数组一般不进行插入和删除操作,因此通常采用顺序存储结构表示。

(吴美朝)

binglian

并联 (parallel connection) 将二个或二个以上二端电路元件中每个元件的二个端子,分别接到一对公共节点上的连接方式。图示为三个二端元件并联。它们都接到一对公共节点 a 、 b 之上。节点 a 、 b 则分别与电路的其他部分连接。



并联电路的特点 主要有①所有并联元件的端电压是同一个电压。②并联电路的总电流是所有元件的电流之和。图示电路中, i 是总电流, i_1 、 i_2 、 i_3 分别是元件 1、2、3 的电流, $i = i_1 + i_2 + i_3$ 。③若干个电阻器并联时,并联电路的总电导是所有电阻器的电导之和,总电阻的倒数是所有电阻器的电阻的倒数之和。设图中元件是电阻器,电阻器 1、2、3 的电阻分别是 R_1 、 R_2 、 R_3 ,它们的电导分别是 G_1 、 G_2 、 G_3 。则并联电路的总电阻 R 和总电导 G 按下面的公式计算

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3, G = G_1 + G_2 + G_3$$

实例 民用照明灯泡都是并联接到 220 V 额定电压的电源上,因此每只灯泡所承受的电压均为 220 V,而外电路的总电流则是流过所有灯泡的电流之和。

(肖达川)

bingxing chuli jisuanji xitong

并行处理计算机系统 (parallel processing computer system) 同时执行多个任务或多条指令,或同时对多个数据项进行处理的计算机系统。并行处理指开发计算过程中的并发事件,实现同时执行。并发事件有任务级、指令级、数据项级等不同层次。同时执行可存在于多处理机、单处理机,甚至功能单元内部。并行处理是提高计算机处理速度的有效技术,早期只能在巨型计算机、大型计算机中采用并行处理,随着超大规模集成电路技术的发展,已在高性能中央处理器芯片内、运算协处理器内实现并行处理。并行处理是计算机系统结构的重要发展方向。

分类 并行处理计算机系统可按指令流和数据流所具有的多倍性来划分。所谓指令流是指处理机执行指令的序列;数据流是指由指令调用的数据序列;多倍性是指在同一执行阶段,指令和数据的最大可能个数。可划分为单指令流多数据流(SIMD)和多指令流多数

据流 (MIMD) 二类: ①单指令流多数据流。系统包含多个重复处理单元, 由单一指令部件按指令要求同时对各处理单元分配数据, 如阵列处理机、流水线处理机、超长指令字计算机等。②多指令流多数据流。系统含多个指令部件及多个处理单元, 这是多处理机系统。共享存储器的多处理机和分布存储器的多处理机, 数据流计算机等按 MIMD 方式工作。

结构原理 按 SIMD 或 MIMD 方式工作的计算机, 主要结构原理如下。

(1)阵列处理机:如图 1 所示系统有一个统一的控制器 CU 和 2^n (n =整数) 个相同的处理单元 PE。PE 内有运算部件和本地存储器 PEM。用互连网络 ICN 把所有 PE 按阵列连接, 按算法需要实现 PE 间数据的多种交换路由。由 CU 解释指令并同步传送操作命令至全部 PE, 实现对数组的并行处理。在浮点阵列处理机内 PE 运算部件的字长可组成 32 位或 64 位等。

位片式阵列处理机的每个 PE 只含一位的运算部件, 在 PE 内部以串行方式实现位的运算操作, 因而可简化各 PE 的器件, 大大增加 PE 的数量。诸 PE 的并行同步操作实现字的并行处理, 使字长的变换、数据的相互交换和运算更为灵活。

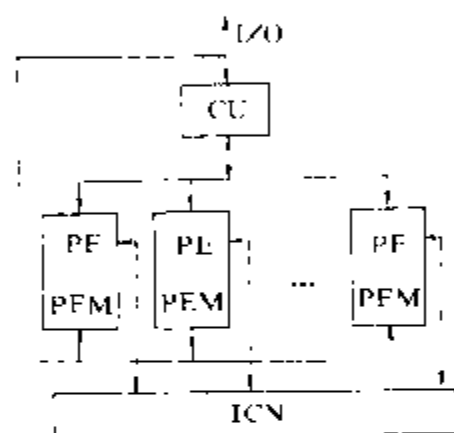


图 1 阵列处理机

(2)流水线处理机:把一个功能单元分成若干段, 每段执行一部分任务, 各段在时间上重叠操作。流水线分指令流水线和运算流水线:①指令流水线。把解释执行指令的单元分段, 如图 2 所示分成取指令、译码、取

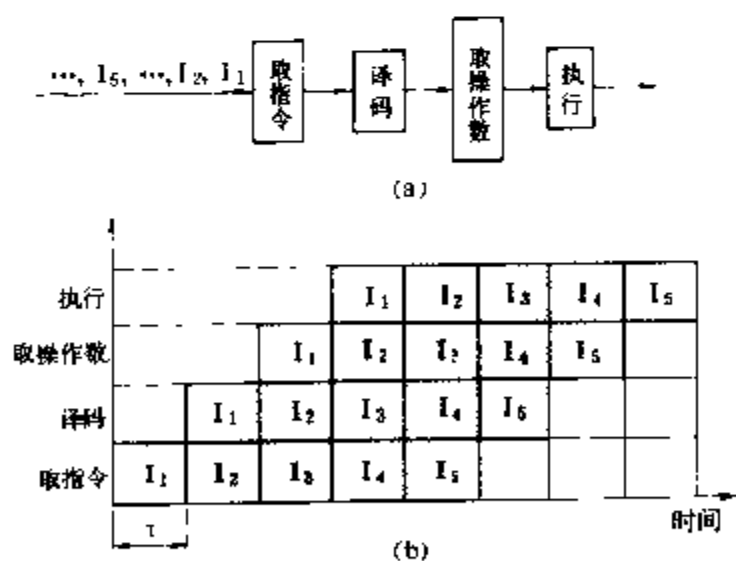


图 2 流水线处理机

(a) 指令流水线; (b) 流水处理时间图

操作数、执行 4 段, 每段占用相同时间 τ , 则在连续流水时, 相继的 4 条指令同时在不同段重叠执行, 每隔

τ 时间就执行完一条指令, 输出一个结果, 使处理速度提高 4 倍。如段数能分得越多, 则处理速度越高。但由于访存冲突、数据依赖、分支指令和中断指令的出现, 会影响流水线的连续, 降低处理速度。②运算流水线。把运算部件分段, 如把浮点加法器分成对阶码、移尾数、尾数加、浮点数规格化等段, 就构成运算流水部件。

流水线计算机设置向量指令, 一条向量指令, 对一组数据作相同的操作。如前一条向量指令的目的操作数是下一条向量指令的源操作数, 且无功能部件冲突, 无向量寄存器冲突, 则此二条指令相应的流水运算部件可以链接起来, 犹如一条更多段数的流水线部件。二条或多条指令的链接处理可进一步提高系统的吞吐量。

(3)超长指令字计算机:在每一时钟周期内, 由统一的中央控制器发出一条位数相当长的指令, 起动多个独立的功能操作部件同时并行操作。跟踪调度编译程序能自动寻找源程序的细颗粒并行度, 形成各功能部件并行处理的目标码, 使机器实现并行处理。

(4)多处理机系统:由相互通信并协同操作的多个处理机组成的系统。多处理机受同一操作系统控制, 实现处理机间进程、数组、数据项的通信和交换。

多处理机的系统结构基本上可分成共享存储器系统和分布存储器系统两种:①共享存储器系统。由专门设计的用于大型、巨型计算机的性能极高而数量不多的处理机所构成。通过共享高速主存储器中的共享变量实现处理机间的紧密联系。为减少访问主存储器的冲突, 主存储器采用交叉存储方式, 甚至每个处理机还有各自的高速缓冲存储器和局部存储器。处理机与共享主存储器间采用开关阵列、互连网络等。巨型机 CRAY X-MP 和 Y-MP、小巨型机 C-2、大型机 IBM3090、超级小型机 VAX6000 等均采用这种结构。②分布存储器系统。由为数众多而价廉的通用或专用的微处理机芯片所构成。由于处理机数量大, 不可能共享主存储器, 因而各处理机带一个大容量的本地存储器。处理机间采用互连网络通信。互连网络有星形、环形、树形、超立方体等。许多大型处理机系统采用超立方体互连网络。如 Intel 公司的 iPSC 有 128 个 80386 处理机; MIT (麻省理工学院) 的 CM-2 有 65536 个处理机; Hycube 已做到 65000 个处理机。

(5)数据流处理机:由数据驱动指令执行的多处理机系统, 见图 3。处理机不设程序计数器, 只有当一条指令所需的全部操作数到齐, 指令才被激活, 指令和数据以操作包的形式, 由仲裁网络送到处理部件执行。执行的结果数以数据包的形式, 由分配网络送到以此结果数为操作数的指令。作为逻辑控制的布尔值则以控

制包形式由控制网络送到受此布尔值控制的指令。系统有众多的处理部件,供激活的指令并行处理。因此可充分地开拓并行度,实现任务、子程序和指令级的并行

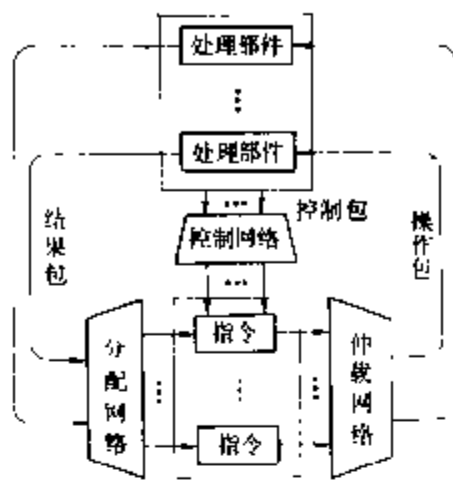


图3 数据流处理机

操作。数据流机器是以语言为基础的处理机,用户语言用有向的数据流程图表示。

提高并行处理的效率,需要为处理对象提出适合机器结构的有效并行算法,并用并行程序设计语言表达,还需由并行化

编译系统自动地对程序作向量化及并行化的变换。多机操作系统需要解决处理机间的通信、共享数据的完整性、并行任务的派生与汇合、同步与互斥、以及资源分配和进程调度等一系列问题。

(张德馨)

boxing yinshu

波形因数 (wave factor) 周期量的有效值与平均值之比。这里的平均值是指周期量绝对值的平均值(见平均值)。例如铁芯线圈(或变压器绕组)的电压有效值 U 和铁芯磁通最大值 Φ_m 的关系式为

$$U = 4kfN\Phi_m$$

式中 k 、 f 和 N 分别为电压的波形因数、频率和线圈匝数。在电压为正弦波形的情况下,电压的波形因数 $k = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.11$ 。从而 $U = 4.44fN\Phi_m$,它是电机工程的常用公式之一。

用附有全波整流器的磁电系交流电流表测量正弦电流时,电表所测量的电流是该电流的平均值 \bar{I} ,但表盘刻度通常为该电流的有效值 I 。在表针指示有效值 $I = 1A$ 时,实质上电表测出的是电流平均值 $\bar{I} = I/k \approx \frac{1}{1.11}A \approx 0.9A$ 。用这种电流表测量非正弦电流时,由于非正弦电流的波形因数不是1.11,表计的读数需要根据波形因数加以修正后才能得到正确的电流有效值。

(孙树勤)

bolli

玻璃 (glass) 一种质地硬而脆的透明物体。一般玻璃是用含石英的砂子、石灰石、纯碱等混合后,在高温下熔化,成型,冷却后制成。主要成分是二氧化

硅、氧化钠和氧化钙。用作电气绝缘的玻璃最常见的是以二氧化硅为主体加入氧化硼、氧化铝、氧化铅、氧化钙、氧化钠等氧化物组成,经混合熔制成高粘性液体,在使其不析出结晶的条件下急冷凝固而成。玻璃具有良好的电气绝缘性能、耐热性、化学稳定性和易加工成型性,在电气绝缘技术中获得了广泛的应用。常用的绝缘玻璃有石英玻璃、钠玻璃、铅玻璃、硼硅酸玻璃、易熔玻璃和玻璃纤维等。

石英玻璃 由纯石英在1700~1800℃下熔制而成,具有良好的电气绝缘性能、低的热膨胀系数、高的耐热性和耐热冲击性、良好的紫外线透射能力。常用作高频绝缘、高温绝缘。石英玻璃也用于制作光导纤维,供光缆线芯用。

钠玻璃 由二氧化硅和氧化钠等在1400℃左右熔制而成。由于其中含有碱金属离子,与石英玻璃相比,体积电阻率、表面电阻率和化学稳定性均有所下降,但钠玻璃的膨胀系数大,经过淬火处理后机械强度和热稳定性大大提高,适于制作高低压输配电线路绝缘子。

铅玻璃 主要由二氧化硅和氧化铅等组成,其电气绝缘性能好、介电常数高,常用作电容器介质。铅玻璃对射线有强的吸收能力,可用作隔离X射线和γ射线的防护材料。

硼硅酸玻璃 主要由二氧化硅和氧化硼等组成。具有高的绝缘电阻、低的高频损耗,良好的耐热冲击性和化学稳定性,常用作高频绝缘子。

易熔玻璃 主要由氧化硼、氧化铅、氧化硅、氧化锌等组成,其特点是熔化温度低,在电子产品中用作焊料和封装材料。

玻璃纤维 由熔制的玻璃拉制成纤维。电工上用的玻璃纤维多由低碱或无碱玻璃制成。与天然纤维相比,它具有不可燃性、高的化学稳定性、低吸潮性和机械强度大等特点,广泛用作耐电磁线、变压器绕组等的绝缘。玻璃纤维及其编织物常作为补强材料用于制造电工复合制品,如由环氧树脂与玻璃纤维复合可制成高强度玻璃钢。

(陈寿田)

Bode tu

伯德图 (Bode diagram) 表示控制系统正弦传递函数 $G(j\omega)$ 的对数幅频曲线和相频曲线的图形。伯德图由两张图组成:① $G(j\omega)$ 的幅值(以分贝, dB表示)-频率(以对数标度)对数坐标图,其上画有对数幅频曲线;② $G(j\omega)$ 的相角-频率(以对数标度)对数坐标图,其上画有相频曲线。所以伯德图又称为对数坐标图。伯德图用于控制系统的分析和设计。

频率特性可以写成一般的形式

$$G(j\omega) = K(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2) \dots$$

$$\left/ \left\{ (j\omega)^{\lambda} (1 + j\omega T_a) \left[1 + \left(\frac{2\zeta}{\omega_n} \right) j\omega + \frac{1}{\omega_n^2} (j\omega)^2 \right] \dots \right\} \right.$$

式中 K 为增益(放大系数), ω_n 为无阻尼自然频率, ζ 为阻尼比。

频率特性的对数幅值(使用记号 L_m) 表达式为

$$\begin{aligned} L_m G(j\omega) = & L_m K + L_m(1 + j\omega T_1) \\ & + r L_m(1 + j\omega T_2) + \dots \\ & - \lambda L_m j\omega - L_m(1 + j\omega T_a) \\ & - L_m \left[1 + \frac{2\zeta}{\omega_n} j\omega + \frac{1}{\omega_n^2} (j\omega)^2 \right] - \dots \end{aligned}$$

频率特性的相角表达式为

$$\begin{aligned} \varphi = & \angle G(j\omega) = \angle K + \angle 1 + j\omega T_1 \\ & + r \angle 1 + j\omega T_2 + \dots \\ & - \lambda \angle j\omega - \angle 1 + j\omega T_a \\ & - \angle 1 + \frac{2\zeta}{\omega_n} j\omega + \frac{1}{\omega_n^2} (j\omega)^2 - \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{或 } \varphi = & \angle G(j\omega) = 0^\circ + \arctg \omega T_1 + r \arctg \omega T_2 \\ & + \dots - \lambda 90^\circ - \arctg \omega T_a \\ & - \arctg \frac{2\zeta \omega / \omega_n}{1 - \omega^2 / \omega_n^2} - \dots \end{aligned}$$

对数幅值的数量关系如下式所示

$$L_m G(j\omega) = 20 \lg |G(j\omega)|, \text{dB}$$

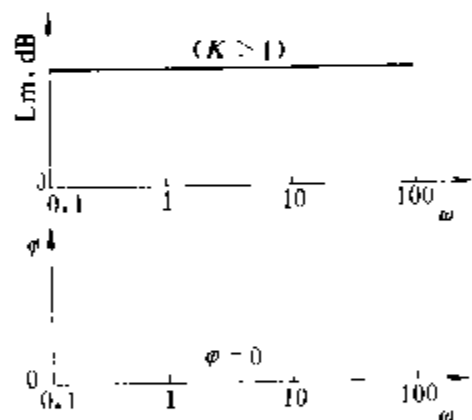


图1 因子 K 的伯德图

作伯德图时,首先写出频率特性,然后按常数因子 K 、积分和微分因子 $(j\omega)^{\pm 1}$ 、一阶因子 $(1 + j\omega T)^{\pm 1}$ 和二阶因子 $[1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]^{\pm 1}$ 这样四种基本因子分别画出伯德图,再总加而成。

图1~图5所示为上述基本因子的伯德图。

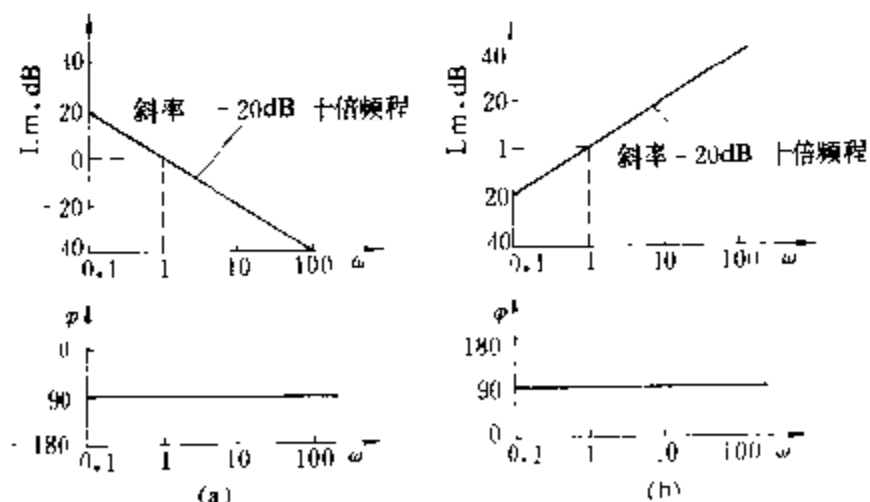


图2 因子 $(j\omega)^{-1}$ 的伯德图
(a) $(j\omega)^{-1}$ 因子; (b) $j\omega$ 因子

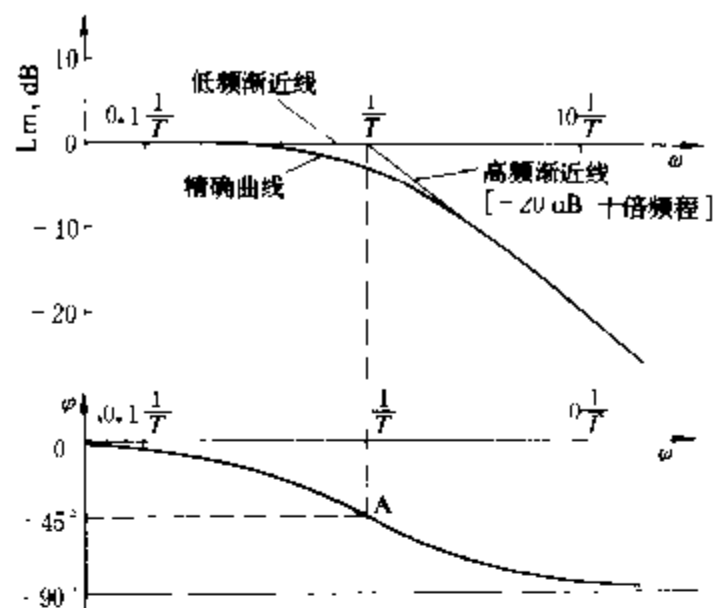


图3 因子 $(1 + j\omega T)^{-1}$ 的伯德图

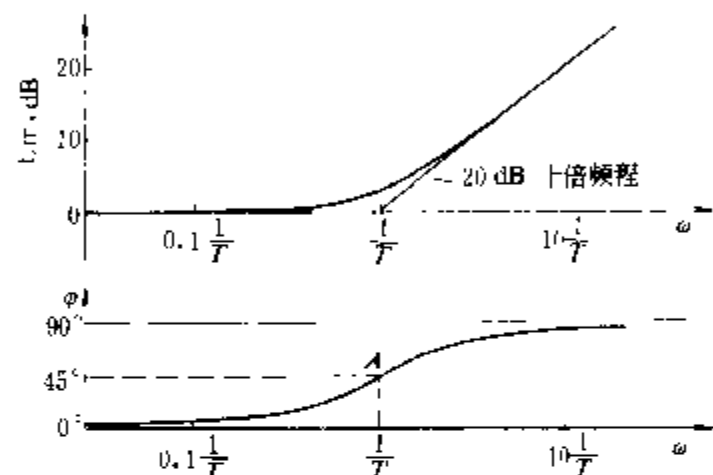


图4 因子 $(1 + j\omega T)$ 的伯德图

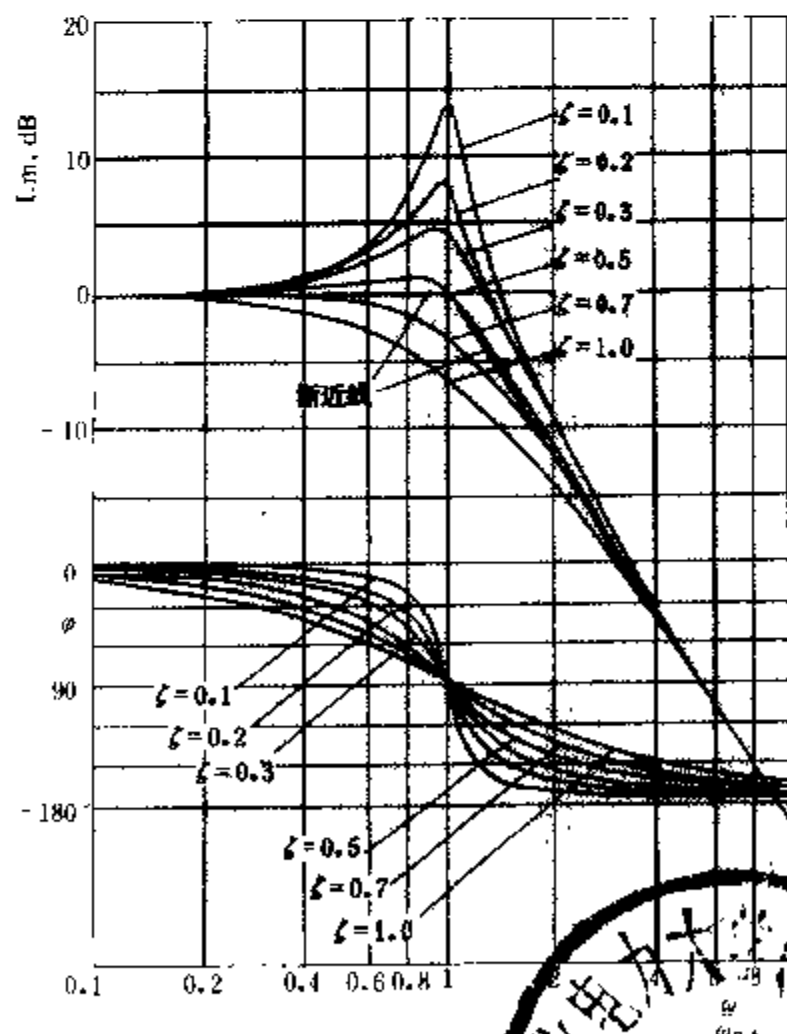
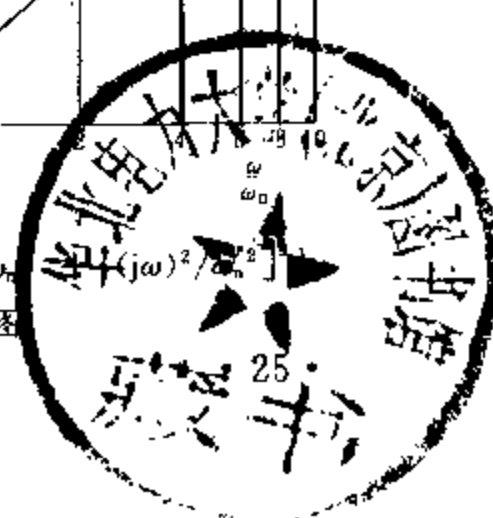


图5 因子 $[1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]$ 的伯德图



采用对数坐标图的主要优点是：①可以把幅值的乘除运算转化为加减运算；②可以采用简便的方法快速绘制近似的对数幅频曲线；③频率采用对数分度便于扩展低频段，而低频特性在实际系统中是重要的；④若将实验获得的频率响应数据绘制在对数坐标图上，能写出传递函数表达式。

(钱源平)

buduichen sanxiang dianlu

不对称三相电路 (unsymmetrical three-phase circuit) 三相电源电压不对称、或三相负载不对称的电路。这种电路中的三相电流一般是不对称的。

三相电源不对称情况 通常情况下，三相电源的电压是对称或接近对称的（见三相对称电路）。电源侧

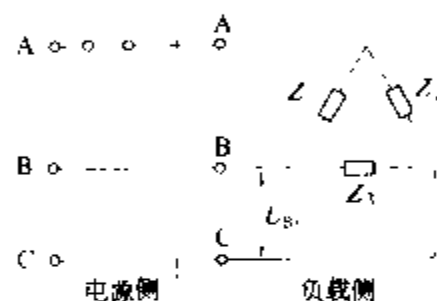


图1 A相断线时的三相电路

出现故障时，使三相电压不对称。图1所示为电源侧A相断线的故障，负载是三角形接线。这时，线电压 \dot{U}_{BC} 实际上是单相电压。阻抗 Z_1 直接接于该单相电压上，阻抗 Z_2 串联后接于该电压上。三相

负载不能正常工作。

三相负载不对称情况 许多不对称负载是单相负载，例如电力机车、电灯、电冰箱等。从电力系统运行观点看，总是希望负载尽可能对称。为此，要把单相负载尽可能均匀地接于各相电压上。图2中的二个单相负载代表二台电力机车。上行机车接在电压 \dot{U}_{AB} 上，下行机车接在电压 \dot{U}_{BC} 上，而不是把它们接在同一个电压上。居民用电一般为低压三相四线制，也应尽可能将各住宅的负载均匀地分配到三个相电压上。

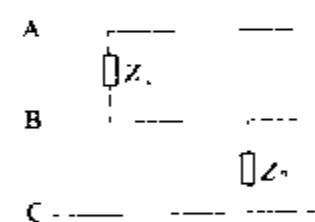


图2 接在三相电压上的二个单相负载

不对称三相电路计算 有二种计算方法：一种是用对称分量法。另一种是用通常分析正弦电流电路的方法如节点法等。下面以图3所示不对称三相电路为例说明后一种计算方法。图3电路是有中线的不对称星形电源向不对称星形负载供电的三相四线制电路。负载中性点 N' 与电源中性点 N 之间的电压相量 $\dot{U}_{N'N}$ 按下式计算

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{Y_A \dot{U}_{SA} + Y_B \dot{U}_{SB} + Y_C \dot{U}_{SC}}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}$$

式中 $Y_A = 1/(Z_{1A} + Z_A)$ ； $Y_B = 1/(Z_{1B} + Z_B)$ ； $Y_C = 1/(Z_{1C} + Z_C)$ ， $Y_N = 1/Z_N$ 。其中 Z_{1A} 、 Z_{1B} 、 Z_{1C} 分别为A相、B相和C相端线的阻抗； Z_A 、 Z_B 、 Z_C 分别为A相、B相和C相的负载阻抗， Z_N 为中线阻抗； \dot{U}_{SA} 、 \dot{U}_{SB} 、 \dot{U}_{SC}

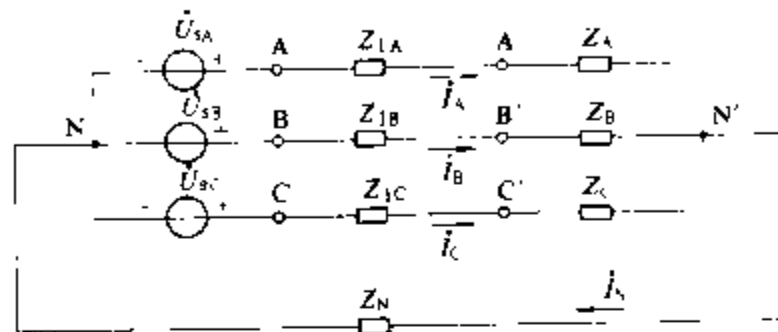


图3 具有中线的不对称星形电源——星形负载的三相电路

分别为三相电源的A相、B相和C相的相电压相量。线电流相量 \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 、 \dot{I}_3 按下式计算

$$\dot{I}_1 = Y_A (\dot{U}_{SA} - \dot{U}_{N'N})$$

$$\dot{I}_2 = Y_B (\dot{U}_{SB} - \dot{U}_{N'N})$$

$$\dot{I}_3 = Y_C (\dot{U}_{SC} - \dot{U}_{N'N})$$

负载相电压相量 $\dot{U}_{A'N'}$ 、 $\dot{U}_{B'N'}$ 、 $\dot{U}_{C'N'}$ 和负载线电压相量 $\dot{U}_{A'B'}$ 、 $\dot{U}_{B'C'}$ 、 $\dot{U}_{C'A'}$ 按下式计算

$$\dot{U}_{A'N'} = Z_A \dot{I}_1, \dot{U}_{A'B'} = \dot{U}_{A'N'} - \dot{U}_{B'N'}$$

$$\dot{U}_{B'N'} = Z_B \dot{I}_2, \dot{U}_{B'C'} = \dot{U}_{B'N'} - \dot{U}_{C'N'}$$

$$\dot{U}_{C'N'} = Z_C \dot{I}_3, \dot{U}_{C'A'} = \dot{U}_{C'N'} - \dot{U}_{A'N'}$$

对称电源不对称负载下的负载中性点位移 通常，相电压相量 \dot{U}_{AN} 、 \dot{U}_{BN} 和 \dot{U}_{CN} 的末端分别是等边三角形顶点A、B和C，它们的始端则在该三角形的重心N处，见图4。如果电压相量 $\dot{U}_{N'N} \neq 0$ ，在位形图上，对应于负载中性点的 N' 将随三相负载和端线的不对称程度而偏离N点，甚至 N' 点可能落在三角形ABC的外部。这种现象称为负载中性点位移。设电源侧线电压 $U_{AB} = 380$ V，则相电压为220 V。在图4所示情况下，A相负载 Z_A 上的电压 $U_{A'N'} < U_{AN}$ ，即 $U_{A'N'} < 220$ V，而 Z_B (B相负载) 上的电压 $U_{B'N'} > 220$ V，C相负载 Z_C 上的电压 $U_{C'N'} > 220$ V。若中性点 N' 位移很大，负载将不能正常工作。要避免负载中性点 N' 位移，应使 $U_{N'N} = Z_N I_N$ 接近于零。即中线阻抗 Z_N 应尽量小。这样即使负载不对称，也能保证各相负载的电压近似等于220 V。

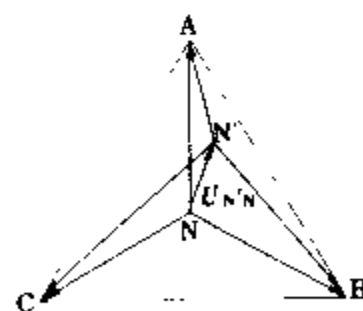


图4 电压位形图

示情况下，A相负载 Z_A 上的电压 $U_{A'N'} < U_{AN}$ ，即 $U_{A'N'} < 220$ V，而 Z_B (B相负载) 上的电压 $U_{B'N'} > 220$ V，C相负载 Z_C 上的电压 $U_{C'N'} > 220$ V。若中性点 N' 位移很大，负载将不能正常工作。要避免负载中性点 N' 位移，应使 $U_{N'N} = Z_N I_N$ 接近于零。即中线阻抗 Z_N 应尽量小。这样即使负载不对称，也能保证各相负载的电压近似等于220 V。

(范丽娟)

buer daishu

布尔代数 (boolean algebra) 一种含与、或、非运算且符合亨廷顿公理的代数系统。设 K 为有限集合, 且有 $B = \{K, +, \cdot, -, 0, 1\}$, 其中 “+” 为二元运算 “或”, “ \cdot ” 为二元运算 “与”, “ $-$ ” 为一元运算 “非”。若 $x+y$, $x \cdot y$ 和 \bar{x} 符合下述亨廷顿 (E. V. Huntington) 公理, 则称 B 为布尔代数。

亨廷顿公理: ① 闭合律: 对于全部的 $x, y \in K$, 有 $(x+y) \in K$; $(x \cdot y) \in K$ 。② 0—1 律: 对于全部 $x \in K$, 存在着元素 $0, 1 \in K$, 有 $x+0=x$; $x \cdot 1=x$ 。③ 交换律: 对于全部 $x, y \in K$, 有 $x+y=y+x$; $x \cdot y=y \cdot x$ 。④ 分配律: 对于全部 $x, y, z \in K$, 有 $x+(y \cdot z) = (x+y) \cdot (x+z)$, $x \cdot (y+z) = x \cdot y + x \cdot z$ 。⑤ 补律: 对于每个 $x \in K$, 有 $\bar{x} \in K$, 使 $x+\bar{x}=1$; $x \cdot \bar{x}=0$ 。⑥ 至少有两个元素 $x, y \in K$, 有 $x \neq y$ 。

上述公理是布尔代数中众多公理中较为简单的一

种, 并由此可推出布尔代数的各种定理。

若 $B = \{K, +, \cdot, -, 0, 1\}$ 中 $K = \{0, 1\}$, 则 B 称为二元布尔代数。此时 “或”、“与”、“非” 的运算规则定义为

$$\begin{aligned} 0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=1; 0 \cdot 0=0, \\ 0 \cdot 1=0, 1 \cdot 0=0, 1 \cdot 1=1; 0-\bar{0}=1, 1-\bar{1}=0. \end{aligned}$$

二元布尔代数, 由于在开关电路或逻辑电路中成功的应用, 工程上也称它为开关代数或逻辑代数。

布尔代数得名于英国数学家 G. 布尔 (G. Boole)。他在著作《逻辑的数学分析》(1847 年) 和《思维规律的研究》(1854 年) 中提出了用数学分析方法表示命题陈述的逻辑结构, 并成功地将形式逻辑归结为一种代数演算, 奠定了布尔代数的基本概念和性质。经历一百多年的发展, 至今, 它已成为开关理论和数字逻辑设计的重要数学工具。

(李菊初)



C yuyan

C 语言 (C language) 见程序设计语言。

CMOS jicheng luojimen

CMOS 集成逻辑门 (CMOS integrated logic gate)

利用 NMOS 管和 PMOS 管或出现的互补特性集成的门电路, 又称 CMOS 集成门。CMOS 门的优点是: 工作时所消耗的功率很小, 电源供给的功率也就很小; 在一块小晶片面积上, 有较大的组装密度, 具有较复杂的功能。因而近年来 CMOS 集成门发展迅速, 在数字控制和电子计算机中得到广泛应用。CMOS 电路一般采用正逻辑规定。

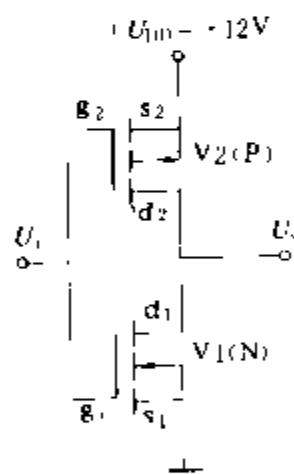


图 1 CMOS 反相器

(非门)

一个 CMOS 反相器 (非门) 如图 1 所示, 其中 V1 为 N 沟道增强型管, V2 为 P 沟道增强型管, 两管的跨导相等。两管串接, 栅极连在一起作反相器输入端, 漏极连在一起作反相器的输出端, 源极 s_2 接 $+U_{DD}$, s_1 接地。要求电源电压 $U_{DD} > |U_{VP}| + U_{VN}$, 其中 U_{VP} 和 U_{VN} 分别为 V2、V1 管的开启电压。

当 U_1 为低电平 (≈ 0 V) 时, NMOS 管 V1 截止, 而 PMOS 管 V2 导通 (因 $|U_{GS2}| = U_{DD} > |U_{VP}|$, 电源电压主要降落在 V1 上, 所以输出高电平 $U_{OH} \approx +U_{DD}$ 。

当 U_1 为高电平 (≈ 10 V) 时, V1 管导通, 而 V2 管截止, U_{DD} 主要降落在 V2 管上, 所以输出低电平 $U_{OL} \approx 0$ V。

由上述分析可知, CMOS 反相器有倒相功能, 是个非门。

图 2 为 CMOS 与非门电路, 表 1 为其真值表。图

表 1 CMOS 与非门真值表

A	B	L
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2 中两个 P 沟道增强型 MOS 管并接, 两个 N 沟道增强型 MOS 管串接。通过分析可知: 当输入量 A、B 具有各种不同的逻辑组合时, 电路的输出 L 如表 1 所示, 因此这电路具有与非逻辑功能, $L = \overline{A \cdot B}$ 。

图 3 为 CMOS 或非门电路, 表 2 为其真值表。图 3 中两个 N 沟道增强型 MOS 管并接, 两个 P 沟道增强型 MOS 管串接。通过分析可知: 当输入量 A、B 具有各种不同的逻辑组合时, 电路的输出 L 如表 2 所示, 因此这电路具有或非逻辑功能, $L = \overline{A + B}$ 。

表 2 CMOS 或非门真值表

A	B	L
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

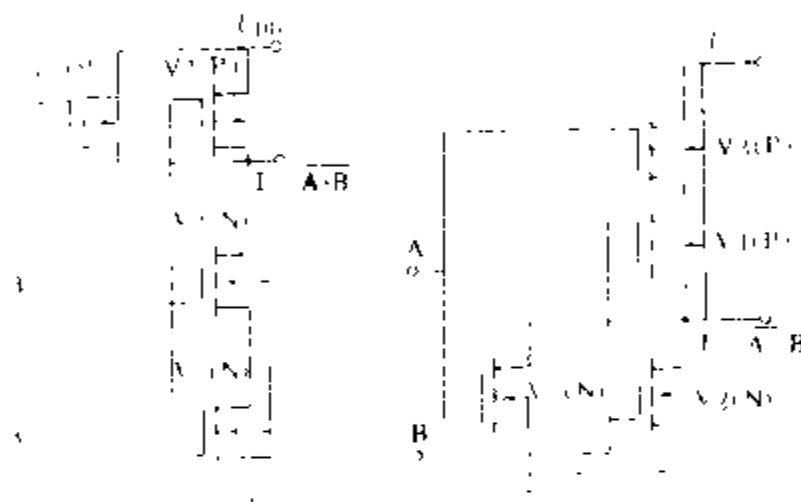


图 2 CMOS 与非门

图 3 CMOS 或非门

此外, CMOS 逻辑门尚有与或非、异或门、三态门和传输门等。

(汤之璋)

COBOL yuyan

COBOL 语言 (COBOL) 见程序设计语言。

cailiang he xinhao zaixian

采样和信号再现 (sampling and signal reproduction)

连续信号经采样产生离散信号和离散信号近似地恢复为原连续信号。用于采样控制系统的分析研究。

如图 1 所示, 连续信号 $x(t)$ 经采样器采样后成为脉冲序列。采样器是以采样周期 T 重复开闭动作的采样开关。经采样开关输出的脉冲序列为采样信号 $x_s(t)$, τ 为采样持续时间。

当 τ 足够小时, 采样信号 $x_s(t)$ 为连续信号 $x(t)$ 与单位冲激序列 $\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT)$ 的乘积, 即 $x_s(t) = x(t)\delta_T(t)$ 。这种情况称为理想采样, 是实际采样的理想化, 用以简化采样过程的分析, 而不影响本质。

为保证采样信号经适当处理后能再现原连续信号, 采样周期的选取应符合采样定理, 现说明如下。

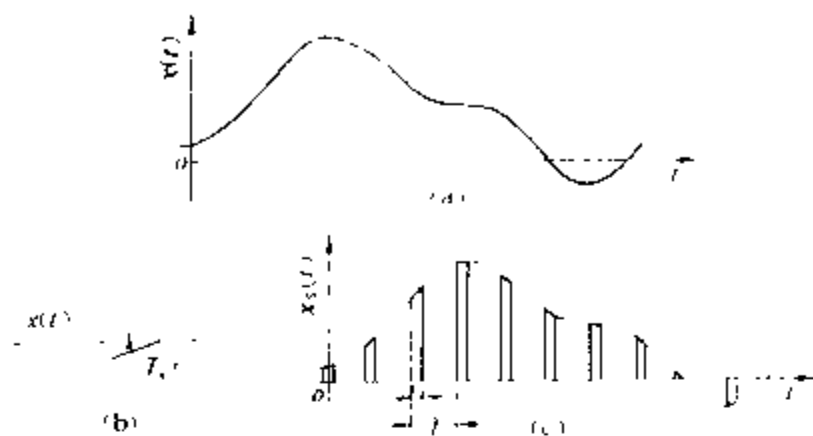


图1 采样

(a) 被采样的连续信号; (b) 采样开关; (c) 采样信号

连续信号 $x(t)$ 变换为频域函数 $X(f)$, 其频谱如图 2(a) 所示。理想采样信号的表达式为 $x_s(t) = x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT)$, 经傅里叶变换后化为频域函数: $X_s(f) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f-nf_s)$ 。若采样频率 $f_s = \frac{1}{T}$ 为 f_h 的两倍, 则有图 2(b) 所示的理想采样信号频谱, f_h 为连续信号中所含的最高次频率。在图 2(b) 中, 包含原连续信号频谱以及无限个经平移的原连续信号频谱。若使理想采样信号通过一截止频率为 f_h 和 $-f_h$ 的低通滤波器, 则滤波后的频谱与原连续信号的频谱完全一致, 即再现了原信号。采样频率 f_s 必须大于被采样的连续信号中所含最高次频率的两倍, 这就是香农 (Shannon) 采样定理, 它是保证采样信号再现成原信号的必要条件。

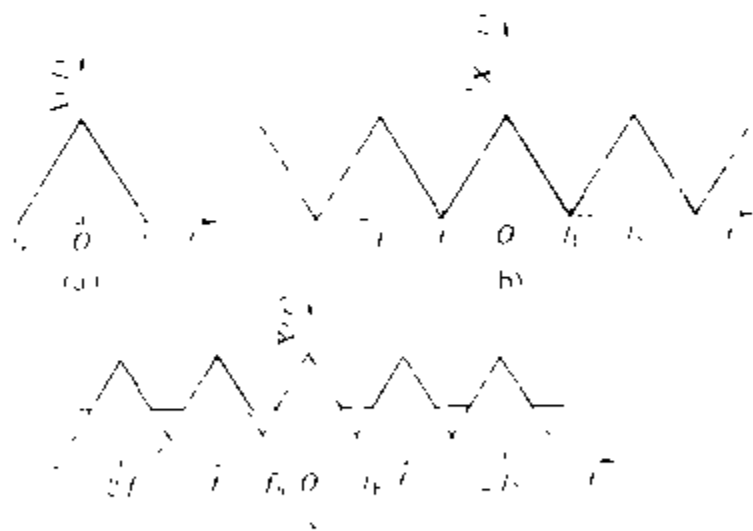


图2 连续信号和采样信号频谱

(a) 连续信号频谱; (b) 采样信号频谱; (c) 频谱混叠

若 $f_s < 2f_h$, 则产生频谱混叠, 如图 2(c) 所示, $-f_h$ 至 f_h 间对应于原连续信号频谱的高频分量和平移频谱的低频分量混叠在一起, 经过低通滤波, 也不能恢复原信号的频谱, 必须避免这种情况的发生。

低通滤波器的特性如图 2(b) 中矩形虚线框所示, 这是理想化了的, 实际上无法做到准确的矩形。因此,

f_s 刚刚大于 $2f_h$ 还不够, 而是应该有相当的裕度, 工程上一般取 $f_s = (4 \sim 6)f_h$ 。

参考书目

斯坦利 W.D. 著, 数字信号处理, 常理译, 北京: 科学出版社, 1979

(李 菊)

caozuobo ganying naiya shiyan

操作波感应耐压试验 (inductive withstanding test with switching impulse)

在变压器低压绕组施加模拟操作波过电压波形, 使该变压器高压绕组的绝缘经受过电压考验的一种耐压试验。试验所施加的过电压波形是模拟电力系统内部由于开关操作或发生故障产生的一种波形, 称为操作冲击电压波, 简称操作波。操作波感应耐压试验, 在中国较多应用在变电所现场对电力变压器进行绝缘考验。由于这种耐压方式省去了大容量的供电变压器, 比采用三倍频试验装置施加正弦波电压更为方便。在电力变压器制造厂, 对额定电压等于及高于 330 kV 电压等级的电力变压器必须进行操作波耐压试验, 但较多采用在高压绕组上直接施加操作波的耐压方式。此外, 国际电工委员会 (IEC) 的文件也推荐采用感应的方式对接在工频试验变压器高压侧的被试绝缘进行耐压或放电试验。

试验电压波形 对变压器类型 (包括互感器以及电抗器) 电力设备的内绝缘所施加的操作波与气体放电下所使用的操作冲击

电压标准波形有所区别。IEC 和中国国家标准规定的波形如图 1 所示。图中 U_m 为电压峰值。定义 T_1 为视在波前时间, T_2 为视在波长时间, T_3 为 90% 峰值电压



图1 操作波形的规定

持续时间。规定 T_1 不小于 $20 \mu s$, T_2 不小于 $500 \mu s$, T_3 不小于 $200 \mu s$ 。

原理接线 图 2 中, 事先经直流充电的电容 C_1 ,

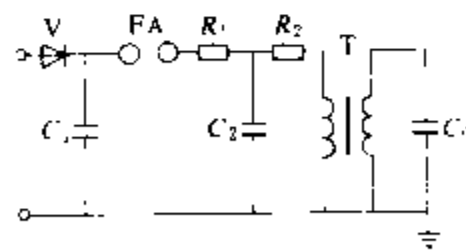


图2 试验的原理接线

经一对铜球间隙 FA 放电, 向变压器 T 低压侧施加一操作波, 变压器高压侧因电磁感应, 按变比升高电压产生试验用的操作波形。调节电阻 R_1 、 R_2 及电容 C_2 可调节变压器低压侧操作波至合适形状, 其高压侧除 t 值在初始处之外, 波形基本上与低压侧相同。波长时间 T_2 除与 C_1 电容量有关外, 很大程

度上取决于变压器非线性的励磁电抗大小,因此还与铁芯的饱和程度、剩磁的大小及极性相关。

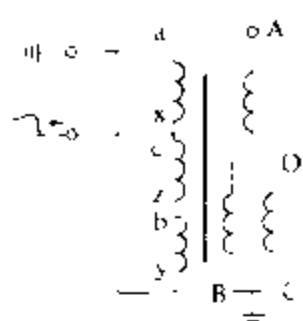


图3 三相变压器的一种试验接线

对于三相电力变压器,可采用自身励磁分相试验法。以试验A相绕组为例,可如图3接线。低压侧a-x端口接到如图2左侧一样的波发生器上;高压侧用B、C两相绕组进行电位的支撑,以使A点达到一定的电压值。IEC标准也规定了三相电力变压器的原则性实验接线。

(陈昌潼)

caozuo chongji dianya biaozhun boxing

操作冲击电压标准波形 (standard switching impulse voltage wave form) 见冲击电压发生器。

caozuo xitong

操作系统 (operating system, OS) 控制和管理计算机硬件和软件资源,合理组织计算机工作流程以及方便用户的程序的集合。操作系统(OS)所管理的资源分为四类,即处理机、存储器、外围设备和信息(程序和数),因而相应地把操作系统分成:①处理机管理模块;②存储器管理模块;③设备管理模块;④文件管理模块。此外,为了合理地组织工作流程和方便用户,系统中还提供了作业管理模块,用于对作业进行控制和管理。作业是指用户程序及其所需的数据和命令的集合。

类型 有批处理系统、分时系统和实时系统。

批处理系统 用户将一批作业有序地输入到磁盘(磁带)上形成作业流。由计算机系统自动地依次把磁盘上的作业调入内存处理。为进一步改善资源的利用率,同时把几个程序 P_1, P_2, \dots, P_n 调入内存分时共享中央处理器(CPU)。CPU先对 P_1 进行处理。当它因某种原因不能运行时,CPU便转向 P_2 ,使 P_1 的I/O操作和对 P_2 的处理并行,以此来减少处理机的空闲时间和提高系统的处理量。这样便形成多道批处理系统。

分时系统 允许多个联机用户同时使用一台计算机进行处理的操作系统。该系统使处理机按时间片分时,规定每道程序一次只能运行一个时间片,并在指定的时间内每个用户程序都能运行一次,从而可使每个用户都能及时获得CPU的响应。由此可知,分时系统的基本特征为:①同时性。若干个用户同时使用计算机。②独立性。用户彼此独立操作。③及时性。在规定的

的时间内获得响应。④交互性。用户可与系统进行人机对话。

实时系统 能及时响应外部事件的请求,在规定时间内完成对事件的处理,并控制所有实时设备和实时任务协调一致地运行。实时系统具有同时性、独立性、及时性和交互性。其交互性较弱,而对及时要求较高。实时系统又可分为实时控制系统和实时处理系统。

功能 操作系统具有五大管理功能:存储器管理、进程管理、设备管理、文件管理和作业管理。

存储器管理 存储器管理的功能为:①存储分配功能。合理分配内存空间,使各道程序不致因相互重叠而丢失信息。实现存储分配的方法有两类:一类是连续分配——把一个作业安置在一个连续的存储空间中。有单一连续分配、固定分区分配、可变分区分配、可重定位分区分配多种。另一类是不连续分配——把一个作业安置在若干不连续的存储空间内。有页式存储管理和段式存储管理两种。②存储保护功能。使各道作业在自己所属存储区内操作,防止某道程序异常而破坏其他程序。③存储扩充功能。借助虚拟存储技术(见虚拟存储器)在逻辑上扩充存储容量,在大容量外存支持下,将一部分暂不运行的代码先置于外存,需要时才调入内存,可使大作业在较小内存中运行。请求页式和请求段式存储管理技术可很好地实现虚拟存储技术。

进程管理 在时间上重叠的多个程序段的执行称为并发执行。为描述程序的并发执行引入进程概念。①进程:可和其他程序并发执行的程序的一次执行。为描述进程的运动变化过程并使之能独立运行,应为它配置进程控制块(PCB)。从结构上看,进程是由程序段、数据段和PCB三部分组成。②进程状态:运行中的进程处于就绪状态、执行状态和阻塞状态三种状态之一。把处于相同状态的进程排在一个队列而形成进程队列。③进程控制:对系统中全部进程实施有效的控制和管理。包含进程的创建和撤消,进程的挂起和激活,进程的阻塞和唤醒。④进程调度:按一定的算法,动态地把处理机分配给就绪队列中的某个进程,使之执行。⑤进程通信:在进程之间所进行的一切信息交换。若仅在相互合作的进程之间交换少量的信息以保持进程之间的协调进行,则称为进程同步。一次仅允许一个进程使用的资源称为临界资源。每个进程中访问临界资源的那段程序称为临界区。诸进程进入临界区时必须互斥称为进程互斥。

设备管理 分配和回收外围设备,控制外围设备操作。设备管理程序的主要功能是:①按照设备的类型和一定的分配算法把设备分配给某些进程,同时还应分配相应的控制器和通道;②起动指定的设备进行数据传送操作,并对设备或通道发来的中断请求作出及

时的响应和处理;③实现其他功能,包括对缓冲器进行管理,实现与设备的无关性,引入假脱机技术实现外围设备同时联机操作等功能。

文件管理 文件指具有符号名的一组相关联元素的有序序列。文件系统是负责存取和管理文件的机构。文件的逻辑结构有两种:一种是无结构的流式文件,另一种是记录式文件。文件的物理结构可分为顺序结构、链式结构和索引结构三种。文件管理应具有的主要功能是:①文件存储空间的管理。根据用户请求,实施磁盘块的分配和释放。②目录管理。为每个文件建立一个目录项,文件目录可采用单级、二级或多级目录结构。③文件读写管理。对读操作,是把信息从磁盘读入缓冲区后,再复制到用户区;对写操作,是一个与读操作相反的过程。④文件保护。禁止未经核准的用户存取文件,防止核准的用户以不正确的方式存取文件。⑤向用户提供接口。用于建立、打开、关闭和读写文件。

作业管理 控制和调度作业的执行。作业管理软件是用户与操作系统的接口。它可分为:①程序与操作系统的接口。用户可在程序中直接或间接地使用系统调用命令取得系统服务。②用户与操作系统的接口。通过输入控制命令向操作系统提出请求,又可分为联机用户与操作系统接口和脱机用户与操作系统接口。作业管理的另一个重要功能是作业调度,按照一定的算法从后备作业中选取若干个作业,为它们分配资源后调入内存,准备运行。

发展方向 操作系统经过 20 世纪 60 年代的大发展,到 70 年代已趋于成熟。进入 80 年代,随着微机和局域网的流行,使操作系统沿着两个方向发展:一是把它应用于微机,随着微机的发展而发展;二是继续向更高水平发展,形成网络操作系统和分布式操作系统。

微机操作系统 配置在微机中,用于管理各种硬、软件资源和方便用户的软件集合。单用户微机操作系统的主要功能是设备管理和文件管理。CPM 和 MS-DOS 分别是事实上的 8 位和 16 位微机的单用户微机操作系统标准。多用户微机操作系统的主要功能有存储管理、进程和处理机管理、设备管理、文件管理和联机作业控制。UNIX 是事实上的多用户操作系统标准。为了便于微机联网和改善用户界面,在 80 年代中、后期推出的操作系统大多扩充了联网功能、窗口功能,有的还增加了图形支持功能。

网络操作系统(NOS) 配置在两网中,用统一的方法管理用户通信和网络共享资源,协调各计算机的运行,以及方便网络用户的软件集合。通常 NOS 是建立在各计算机原有操作系统基础上的单独的一层软件,是网络用户和单机操作系统之间的接口。NOS 的主要功能有:实现全网范围的文件系统,提供统一的文

件传输和存取机制,对网络中的硬、软件资源的有效管理,提高系统的性能和可靠性。确保文件和数据的安全性和保密性等。

分布式操作系统(DOS) 它是直接对系统各类资源进行动态分配,有效地控制和协调诸任务的并行执行,并向用户提供统一的、有效的接口的软件集合。在构造 DOS 时,通常是摒弃原有的单机 OS,而完全重新建立。DOS 的主要功能是实现分布式进程通信与同步,对系统中的各类资源实施有效管理,将一组能并行执行的任务集,同时分配到多个处理单元上,使之能并行执行,并可管理程序由一台处理机浮动到另一台处理机上。

(汤子瀛)

celang fangdaqi

测量放大器 (instrumentation amplifier)

放大各种传感器输出的微弱电信号的放大电路。又称仪表放大器或数据放大器。在电力系统中经常要测量温度、湿度、压力和流量等参数,传感器首先把这些非电量转换成电量(电压、电流或电荷)。一般情况下,传感器的输出信号较小,通常为毫伏甚至微伏级,因此,必需经测量放大器进行放大,并经适当处理后用于控制、显示和记录。

对测量放大器的要求是:①为放大微弱的电信号,放大器本身应具有很小的失调电压 U_{os} 、噪声电压 U_n 和很小的温漂,即 U_{os} 、 U_n 应小于传感器的输出信号;②放大器应有很高的输入阻抗 Z_i , Z_i 应远大于传感器的输出阻抗 Z_o ;③放大器应有较高的共模抑制比 K_{CMR} ,以便抑制输入回路中的同相干扰。此外,对测量放大器的增益带宽积、非线性度、使用的温度范围等要根据使用场合提出具体的要求。

工作原理 图 1 为测量放大器的原理电路。传感器的两根输出线分别接到运算放大器 N1 和 N2 的同相输入端,它们的输出送到差值放大器 N3。设 N1、N2 和 N3 均为理想元件,则

$$U_{o1} = U_{i1} - \frac{R_2}{R_1} (U_{i2} - U_{i1}) \quad (1)$$

$$U_{o2} = U_{i2} + \frac{R_2}{R_1} (U_{i2} - U_{i1}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} U_o &= \frac{R_4}{R_3} (U_{o2} - U_{o1}) \\ &= \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) (U_{i2} - U_{i1}) \end{aligned} \quad (3)$$

若两输入信号只包含共模分量 U_c , 即 $U_{i1} = U_{i2} = U_c$ 则由式 (1) ~ (3) 得: $U_{o1} = U_{o2} = U_c$; $U_o = 0$ 。可见,输出信号 U_o 完全不含共模分量,故图 1 电路具有较高的共模抑制比。但是,由于 N1、N2、N3 所允许的最高

共模电压 U_{icm} 一般只有几十伏 (20~30 V), 所以, U_{i1}

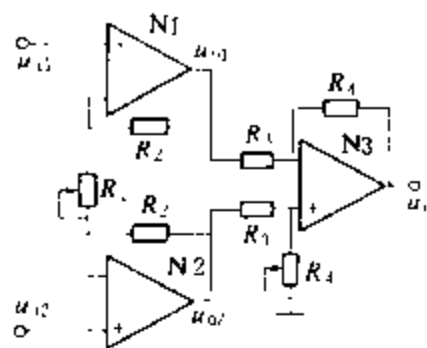


图1 测量放大器原理图

和 U_{i2} 中的共模分量最高只能有 20~30 V。又因 U_{i1} 和 U_{i2} 接到 N1、N2 的同相输入端, 故具有很高的输入阻抗 Z_i , Z_i 将比传感器的输出阻抗 Z_o 大得多, 符合对测量放大器的要求。

在有些系统中, 传感器的两根输出线 (一端接放大器输入端, 另一端接传感器和放大器的机壳) 相对于大地具有很高的电位, 因此传感器输出信号的接地端与显示仪表的接地端 (通常为真正的大地或显示仪表的机壳) 之间存在着很高的直流或交流电位差, 这两个“地”之间如果不加绝缘隔离, 势必造成显示误差或损坏元器件。为此, 传感器的输出信号必需先通过一个隔离放大器, 把两个“地”之间的高电位差加以隔离。

隔离放大器 原理框图如图 2 所示。 U_i 为传感器的输出信号, 接到前置放大器的同相输入端与输入信号“地”之间。输入信号“地”与输出信号 U_o 的“地”之间有时存在着较高的电位差, 例如可达千伏级。 U_i 经前置放大器放大后, 再经调制器、变压器 T1 和解调器后输出。所以变压器 T1 负担信号的传输和电位隔离。但是, 前置放大 A 和调制器都需要一定功率的电源, 这个电源 (直流) 是从 +15 V 电源侧经过振荡器、变压器 T2 和整流滤波后获得的, 所以 T2 负担电功率的传输和电位隔离。T2 和 T1 上边的箭头指向分别代表功率流向和信号流向。

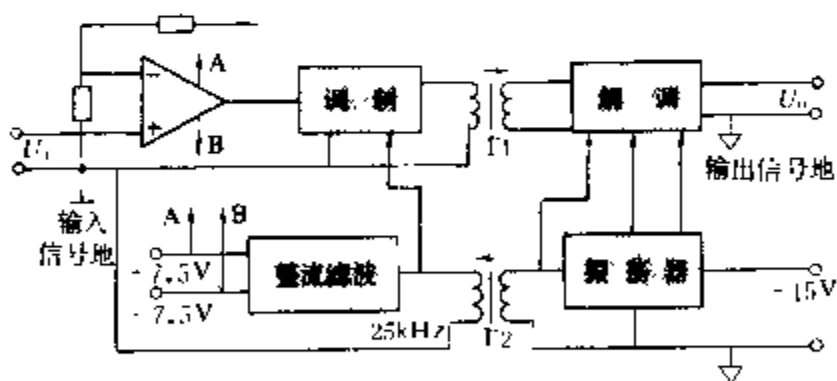


图2 隔离放大器原理框图

(何金茂)

celiang quxi

测量球隙 (sphere-gap for measurement)

利用球的放电原理构成的高电压直接测量装置。可测量交流高电压 (包括较高频率下的衰减和不衰减交流电压)、直流高电压和冲击高电压。它由一对直径为 D 、间隙为 s 的铜球组成。当 $s < 0.5 D$ 时, 球隙间形成

近乎均匀电场, 此时放电电压分散性较小, 故可利用球隙的放电来测量高电压。方法是, 将被测电压加于球隙, 改变球隙距离 s 至球隙恰好放电, 该球隙的放电电压值就是被测电压。球隙所测得的是高电压的峰值。

被测电压越高, 需用更大直径的铜球, 国际电工委员会 (IEC) 提出了不同直径 (2~200 cm)、不同间隙下球隙的标准放电电压表作为测量依据, 中国国家标准 GB311.6-83 《高电压试验技术第五部分·测量球隙》也引用了该表。空气的放电电压和空气的相对密度 δ 有关, 故放电电压表是指标准大气状况 (即气温 20℃, 大气压力为 101.3 kPa) 下的数值, 非标准状态下放电电压值等于标准状态下放电电压值乘以校正系数 K 。 K 和 δ 有关, $\delta = 2.892 \frac{p}{T}$ (p 为大气压力, kPa; T 为气温, ℃)。当 δ 值在 0.95 和 1.05 之间时, $K = \delta$ 。

为防止球隙放电的短路电流烧损球面和阻尼电路中因刷状放电而引起高频振荡 (后者会使球隙发生异常放电), 使用球隙时需与其串联一个 100 kΩ 至 1 MΩ 的电阻 (见工频试验变压器)。测量冲击电压时, 串联电阻值应小于 500 Ω, 而且应是低电感的。由于球隙的冲击放电电压有分散性, 故测量冲击电压时要采用 50% 放电电压法, 即在被测电压作用下, 相应球隙的放电概率为 50%。简单的惯用作法是, 对某球隙加同一冲击电压 10 次, 其中 4~6 次放电, 则球隙放电电压表上的相应数值就是该冲击电压值。

为保证测量准确度, 对球表面光洁度、球面曲率、球径球杆尺寸、与周围物体距离以及加电压方式等都有一定的要求。在满足这些条件的情况下, 对交流、冲击电压的测量准确度为 ±3%, 测量直流高电压的准确度为 ±5%。

测量球隙是可直接测量数百至数千千伏高电压的唯一设备, 可用于测量交直流和冲击电压, 而且结构简单可靠。其缺点是, 使用时必须放电, 测量过程较繁琐费时, 测量准确度较低, 易受周围环境条件影响而发生异常放电。目前发展趋势是用分压器来取代它测量高电压而只用它作为试验时防止电压过高的保护装置。

(王昌长)

cewen dianzu caoliao

测温电阻材料 (resistive materials for measuring temperature) 电阻随温度变化而显著变化的材料。可以利用这类材料的电阻温度特性来测定温度。

铂 (Pt)、镍 (Ni) 等金属是较早采用的测温电阻材料, 有正电阻温度系数; 而硫化银 (Ag_2S) 是最早 (1837 年) 发现的负温热敏电阻材料。1940 年后, 发现

有很大负温度系数 (NTC) 的半导体热敏材料; 1950 年开发了 Mn-Co-Ni 三元系材料, 后来又向四元系发展; 1955 年又开发了以钛酸钡 (BaTiO_3) 为主的正温度系数 (PTC) 热敏材料; 1960 年研制了临界负温电阻 (CTR) 材料。

测温电阻材料有金属和热敏电阻材料两类。金属材料主要是 Pt, 其性能稳定、线性度好、工作温度为 $-200 \sim +800^\circ\text{C}$ 。热敏电阻材料有半导体陶瓷、单晶半导体、热敏玻璃和塑料。陶瓷热敏材料, 负温度系数的主要有锰 (Mn)、钴 (Co)、镍 (Ni)、铁 (Fe) 和铜 (Cu) 等金属氧化物的复合烧结体, 其热敏系数为 2000 \sim 6000, 温度系数 $(-1 \sim -6)\%/^\circ\text{C}$, 工作温度 $-60 \sim +300^\circ\text{C}$; 正温度系数的主要是钛酸钡 (BaTiO_3) 与钛酸锶 (SrTiO_3) 或钛酸铅 (PbTiO_3) 的结合。并加微量铌 (Nb)、钽 (Ta) 或镧 (La)、铈 (Ce) 等元素, 其温度系数在 $(0.5 \sim 60)\%/^\circ\text{C}$; 临界负温材料以 V_2O_5

为主要成分, 温度系数高达 $-100\%/^\circ\text{C}$ 。单晶半导体主要有锗 (Ge)、硅 (Si), 其稳定性较好, 温度系数与掺杂有关。热敏玻璃主要由氧化钒 (V_2O_5)、氧化钨 (WO_3) 和五氧化二磷 (P_2O_5) 制成, 其稳定性较差, 故使用不多。热敏塑料用聚乙烯和热敏有机半导体 (多环芳香族化合物和聚酰胺树脂等) 制造, 富有柔性, 适于大面积平均温度检测, 但使用温度不高。测温电阻材料用于制作测温元器件、热敏器件和温度传感器。

铂测温电阻器 (丝或膜式) 0°C 时的阻值有 $50\ \Omega$ 或 $100\ \Omega$, 其准确度达 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 非线性误差 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 适于精密测量。使用时应消除连接导线电阻的影响。陶瓷热敏电阻种类繁多, NTC、PTC 和 CTR 三类的特性见表。使用中须注意不同场合选取合适的电阻器型号; 注意测温电阻的安置方法, 适用的温度范围、容许误差和响应时间等。单晶半导体热敏电阻主要有锗电阻器, 用于精密测量、控温和低温 ($1.5 \sim 40\ \text{K}$) 测量。

陶瓷热敏电阻的种类、特性和主要用途

名 称	0°C 时的阻值 (Ω)	电阻温度系数 ($\%/^\circ\text{C}$)	热时间常数 (s)	主 要 用 途
NTC	$10 \sim 10\text{M}$	$-1 \sim -6$	$0.5 \sim 3$	测、控温, 温度补偿, 温度报警, 微波功率测量, 稳压, 流量、流速测量和延时等
PTC	$10 \sim 1\text{M}$	$6 \sim 50$	$3 \sim 10$	测、控温、温度补偿、报警, 过载保护, 延时和加热等
CTR	$1\text{K} \sim 10\text{M}$	$-30 \sim -100$	$0.5 \sim 3$	特定温度检测, 控温, 温度报警和直接加热延时等

目前, 热敏电阻的测温准确度优于热电偶, 并具有互换性。发展趋势是: 寻求灵敏度高、工艺性好和高稳定性的材料; 发展超低温 (-200°C 以下) 和稳定的高温 (300°C 以上) 测量材料; 研制和发展温度系数较大的线性热敏电阻材料及其他类型的新型材料, 如热敏塑料等。

参考书目

徐开先等. 热敏电阻器. 北京: 机械工业出版社, 1981

(孟中岩 吕乃康)

cengci shujuku

层次数据库 (hierarchical database) 采用层次原理和方法, 以层次数据模型为基础建立的数据库。一般是指由层次数据库管理系统产生的层次数据库系统。层次数据模型是以记录类型为结点的有向树, 也就是一棵倒置树, 除根结点外, 任何结点都有且仅有一个上层结点。而且两个记录类型之间的值联系为一个上层记录值对应多个下层记录值, 称为一对多的联系, 这样, 记录值也成为一棵倒置树形。层次数据库就是把这样一棵棵的树形数据存储起来, 并且在树

与树之间建立起联系, 成为一个完整的数据库。

(毛根生)

chadong fangdaqi

差动放大器 (differential amplifier) 能把两个输入电压的差值加以放大的电路, 也称差分放大器。差动放大器采用对管 (双极型晶体管、单极型场效应管、电子管) 作为它的有源器件。

电路组成 晶体管差动放大器的基本电路如图 1

所示。这是一个对称电路。输出电压 $u_o = u_{o1} - u_{o2}$ 是晶体管 V1 和 V2 集电极输出电压 u_{o1} 和 u_{o2} 之差。当 V1 和 V2 的输入电压幅值相等且极性相反, 即 $u_{i1} = -u_{i2}$ (称差模输入电压)

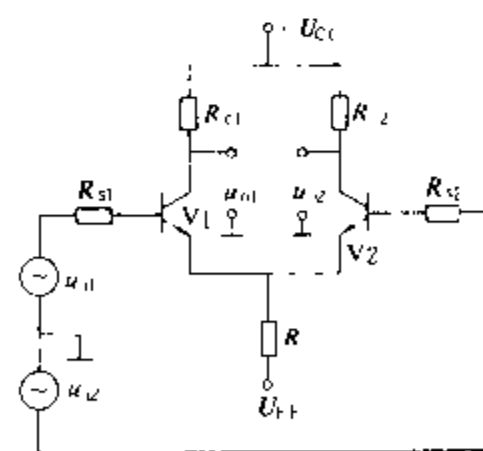


图 1 差动放大器的基本电路
时, 差动放大器的电压放大倍数 (差模电压放大倍数, 记为 A_{ud}) 和单管放大器的电压放大倍数相等, 即 A_{ud}

$\approx \beta \frac{R_C}{r_{be}}$, 式中 $R_C = R_{C1} = R_{C2}$, r_{be} 为晶体管输入电阻,

$r_{be1} = r_{be2} = r_{be}$ 。当两输入电压的幅值与极性均相等时, 即 $u_{i1} = u_{i2}$ (称共模输入电压), 放大器的输出电压 u_o 应等于零, 电压放大倍数 (称为共模电压放大倍数, 记为 A_{UC}) 也等于零。实际放大器不可能两边完全对称, 因而还有一定的共模放大倍数。在实际应用中, 有共模干扰产生的共模输入; 也有温度变化和电源电压不稳等因素对差动放大器的干扰相当于分别给两个晶体管的输入端加了一个大小相等方向相同的漂移电压产生的共模输入。利用电路的对称性可以使之相互抵消或予以削弱, 使输出端的漂移电压大大减小。电路对称性越好, 共模电压放大倍数就越小, 输出端的漂移电压也会越小。

差动放大器可以是双端对称输入和输出, 也可以是单端不对称输入和输出, 故也常用其实现双端与单端电路的相互转换。

主要性能指标 差动放大器的 A_{UD} 是有用信号的放大倍数, 当然要求大一些好; A_{UC} 是无用信号的放大倍数, 它表明零漂 (见直流放大器) 的程度, 当然越小越好。通常用一个综合指标——共模抑制比 $K_{CMR} = A_{UD}/A_{UC}$ 来衡量, K_{CMR} 值

越大, 表明电路抑制共模信号的性能越好。一般差动放大器的共模抑制比用分贝表示时约为几十分贝, 性能好的可达一百分贝以上。分析表明, 图 1 所示的电路的共模抑制比 $K_{CMR} \approx \beta R_C / r_{be}$ 。

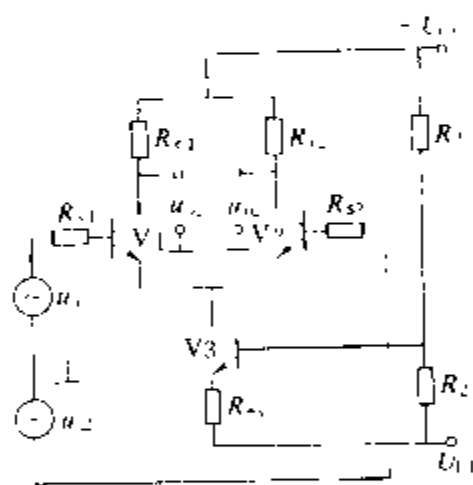


图2 恒流源差动放大器

恒流源差动放大器 为了提高差动放大器的共模抑制比, 通常采用图 2 的恒流源电路代替发射极公共电阻 R_E 。该电路是一种零点漂移很小的直接耦合放大器, 常用于直流放大, 目前已广泛用于线性集成组件的输入级电路。

集成差动放大器 图 3 是采用集成运算放大器构成的差动放大器。它也是能把两个输入电压的差值加以放大的电路, 其输出电压 u_o 与两个输入电压 u_{i1} 和 u_{i2} 的关系为

$$u_o = -\frac{R_2}{R_1}(u_{i1} - u_{i2})$$

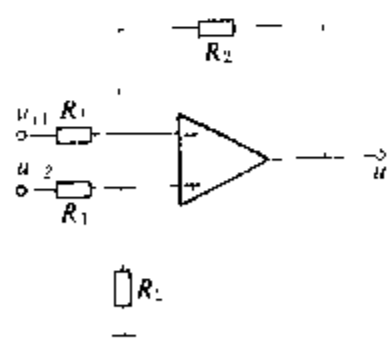


图3 集成差动放大器

这种集成差动放大器已广泛用于各种运算电路中。

(王志宏)

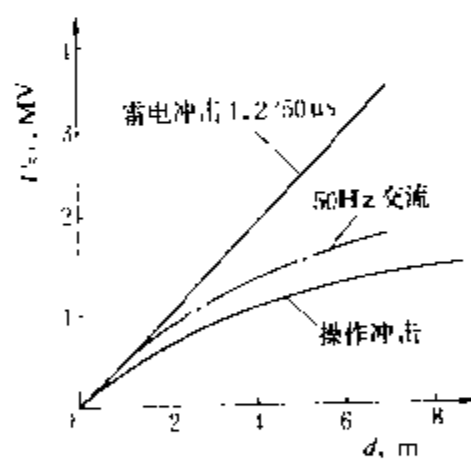
changkongqi jianxi jichuan

长空气间隙击穿 (breakdown of long air gap)

长达数米甚至数十米空气间隙的击穿。为适应高压、超高压和特高压输电的需要, 必须合理决定架空线路和变电所的空气绝缘距离。为此就要研究长空气间隙的击穿特性。模拟电力系统运行的实际情况时, 作用在间隙上的电压, 除了考虑正常工作下的工频交流电压外, 还要考虑由雷电及操作或事故而引起的过电压。过电压通常用雷电或操作冲击电压来代表 (见雷电冲击电压标准波形或操作冲击电压标准波形)。

对正棒—负板间隙放电发展过程的快速照像说明: 先在正棒极端出现电晕, 然后发展成先导。所谓先导就是由多个流注汇集在一起所形成的较粗的、电导率较高的放电通道, 先导前端有流注在继续发展 (见流注放电理论)。当先导接近板极时, 发展特别快, 迅速使间隙击穿, 称为“最后跳跃”阶段。

长间隙击穿电压受电压波形、电压极性、电极形状、电极布置等因素的影响。图中示出了工频电压下和冲击电压下正棒电极对负平板电极的击穿电压 U 与电极间距离 d 的关系曲线。对冲击击穿电压是以 50% 冲击放电电压 U_{50} 表示的。



间隙的击穿电压

由图可见, 间隙的雷电冲击击穿电压最高。另外可以看出, 当放电间隙增大时, 工频和操作冲击击穿电压有饱和的趋势。举例来说, 在 2 m 长的间隙, 50 Hz 交流击穿电压约为 900 kV 峰值, 平均击穿场强约 4.5 kV/cm。而

16 m 长的间隙, 平均击穿场强只约 1.4 kV/cm。

长间隙的击穿电压主要靠试验法确定。但是这需要规模很大的试验设备, 费用很高。因此, 用计算法来求得击穿电压, 以代替试验法, 就成为一重要的研究课题。一种方法是按放电的发展过程, 做一定的简化, 计算出击穿电压。或用计算机来模拟放电发展。另一种方法是用“间隙系数”估算。正棒对负极电极间隙的击穿电压已经有许多数据, 若间隙距离相同但电极结构不同, 则可以根据试验数据乘以“间隙系数”以获得击穿电压。但上述方法都还不能完全代替直接试验法。

(朱德恒)

changxiaoying bandaoti qijian

场效应半导体器件 (field-effect semiconductor device)

利用电场效应来控制电流的半导体器件。场效应晶体管分为结型场效应晶体管和绝缘栅型场效应晶体管两大类,它们都是以半导体中的多子来实现导电,所以又称为单极型半导体器件。结型场效应晶体管是依靠改变PN结中耗尽层的宽度来改变漏极电流的,故其PN结只能工作在反偏状态。双极型晶体管既利用多子又利用少子参加导电,由于少子的浓度易受温度、辐射等外界条件的影响,所以双极型晶体管的温度稳定性和抗辐射性较场效应晶体管差。与双极型晶体管相比,场效应晶体管的噪声较低,所以在低噪声放大器的前级常选用场效应晶体管。场效应晶体管是电压控制器件,栅极基本上不取电流,而双极型晶体管的基极总要取用一定电流。所以在只允许从信号源取极小量电流的情况下,应该选用场效应晶体管。

场效应晶体管的制造工艺比双极型晶体管简单得多,且所占用的芯片面积小。尤其是MOS场效应晶体管(见绝缘栅场效应晶体管),其所占用的芯片面积仅为双极型晶体管的15%。因此特别适合于制造大规模集成电路。

场效应晶体管的源极S和漏极D的结构通常制成对称的,因而可以互换使用(但对源极与衬底已在制造时连在一起的管子,不能再互换使用)。双极型晶体管中,由于发射区与集电区不但掺杂浓度相差很大,而且集电结与发射结的面积也相差甚远,因而发射极和集电极一般不能互换使用。

以前,场效应晶体管都是小功率管,工作速度也较低。近年来,随着大规模集成电路的发展,特别是采用了将P沟道与N沟道MOS管相结合的所谓CMOS场效应晶体管以后,场效应晶体管的工作速度已有了很大提高。另外,一种被称为VMOS的功率场效应晶体管已经问世,从而使场效应半导体器件进入大电流、高电压的应用场合,通度也大为提高。

(顾立麓)

changxiaoying jingtiguan tangda dianlu

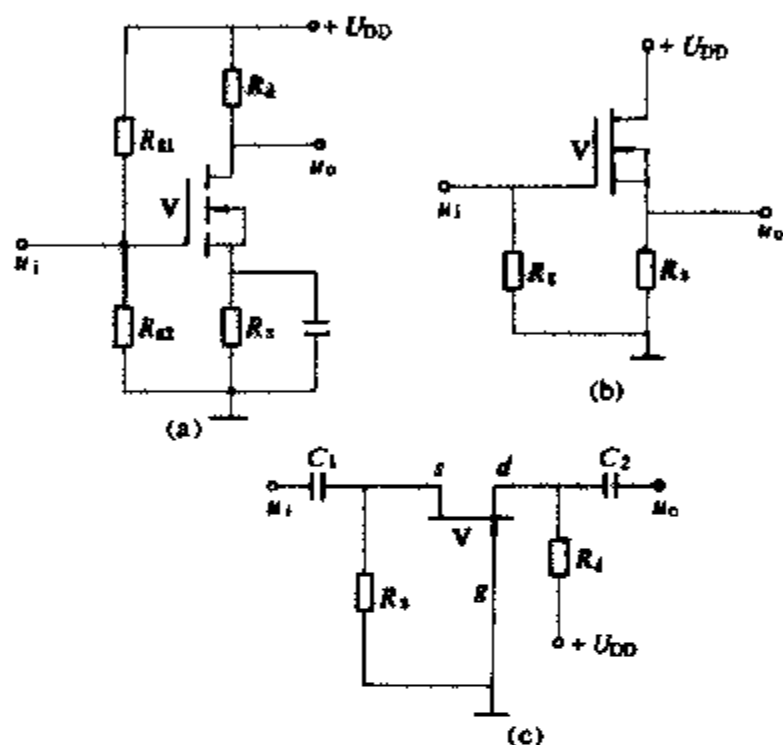
场效应晶体管放大电路 (field-effect transistor amplifier)

利用场效应晶体管作有源器件的放大电路。场效应晶体管(见场效应半导体器件)是20世纪60年代发展起来的半导体器件。它既有一般半导体管体积小、重量轻、耗电省和可靠性高等优点,又有远比一般半导体管高的输入阻抗。此外,由于MOS场效应晶体管组成的集成电路制造工艺简单、集成度高,因此发展迅速,应用日益广泛。

由于场效应晶体管具有输入阻抗高、噪声低的优点,在多级放大电路中,经常用作前置放大级。利用场效应晶体管的恒流特性,在放大电路中也常作恒流源用。

利用场效应晶体管的基本放大电路有三种,分别是共源、共漏、共栅放大电路。

(1)共源放大电路:图(a)是共源放大电路,是用得最广泛的一种电路。其中场效应晶体管是N沟道增强型MOS管。该电路有较大的电压增益、较大的输入电阻,但由密勒效应引起的输入电容太大,影响高频响应。常用作电压放大。



利用场效应晶体管的基本放大电路

(a)共源放大电路;(b)共漏放大电路;

(c)共栅放大电路

(2)共漏放大电路:图(b)是共漏放大电路,又名源极跟随器。也是用得比较广泛的一种电路。其中场效应晶体管是N沟道耗尽型MOS管。该电路的输入电阻大,输入电容小,电压放大倍数小于1。常用作输入级以提高输入阻抗,或用作阻抗变换、缓冲电路。

(3)共栅放大电路:图(c)是共栅放大电路,比共源、共漏电路用得少,主要用于高频电路。其中场效应晶体管是N沟道结型场效应管。该电路电压增益大,输入电容小,但输入电阻小。

(王志宏)

chaodao caliao

超导材料 (superconductive material)

在一定条件下能呈现超导态的物质。可分为超导元素、超导化合物和超导陶瓷三类。

超导材料的主要电磁学特性及参数有:①临界温度和零电阻特性。当温度降低到某一特定值以下时,电

阻消失,该温度称为这种超导材料的临界温度,以 T_c 表示。当温度高于 T_c 时,又恢复到正常态。如用电磁感应的方法使超导体内部产生感生电流,估计电流将维持若干年。从这种意义上可以说超导态具有零电阻特性。②临界磁场。超导态还和外磁场有关。原来处于超导态的物质,当磁场强度增加到某一临界值 H_c 以上时,突然转入正常态。如再降低到 H_c 以下,又恢复超导态。③完全反磁性。处于外磁场中的超导体,内部磁通密度等于零,称为迈斯纳(Meissner)效应。

临界温度和临界磁场这二个参数是超导材料的主要特性参数,是超导材料优劣的标志。

1911年,荷兰物理学家 H.K. 昂尼斯(H. K. Onnes)首先发现汞的超导电性,此后陆续发现多种元素超导材料,临界温度较高的有 Hg(α), 4.153 K; La(β), 6.06 K; Nb, 9.25 K; Pb, 7.193 K; Ta, 4.48 K; Tc, 8.22 K; V, 5.30 K。元素超导材料的临界温度如此低,很难付之实用。而且,它们的临界磁场 H_c 也很低,其中临界磁场较高的 Nb 只有 $1993 \left(\frac{10^3}{4\pi} \text{A/m} \right)$, 在外磁场中很容易失去其超导性。

为了使超导能有实际应用,人们坚持寻找 T_c 和 H_c 较高的超导化合物。迄今为止,发现超导性较好的化合物主要有: Nb₃Sn, T_c 为 18.05 K, H_c 为 $2.5 \times 10^5 \left(\frac{10^3}{4\pi} \text{A/m} \right)$; V₃Si 的 T_c 为 17.8 K, V₃Ga 的 T_c 为 16.8 K, H_c 也属同一数量级。

长期以来在提高 T_c 和 H_c 的研究中未获突破,直到 1986 年后,发现了一系列金属氧化物陶瓷,其 T_c 可高达 100 K 上下,被称为“高温”超导材料。概况如下: 1986 年 4 月德国的 J.G. 贝德诺尔兹(J. G. Bednorz)和瑞士的 K. A. 缪勒(K. A. Müller)发现了临界温度为 35 K 的 La、Ba、Cu 氧化物陶瓷超导材料,为提高超导材料 T_c 的研究打开了新的局面,获得 1987 年诺贝尔物理学奖。1987 年初美国体斯敦大学朱经武获得 T_c 为 98 K 的 Y、Ba、Cu 氧化物超导材料。随后中国科学院宣布获得 T_c 为 100 K 的类似超导材料。日本金属材料研究所筑波分所获得 T_c 为 93 K 及 123 K 的二种超导材料。近年来发现的超导材料均属氧化物陶瓷材料,在临界温度以上是绝缘体。按其元素的含量通常称为钇(Y)系、镧(La)系和铋(Bi)系等。

超导材料的应用前景取决于临界温度能否提高。除特殊用途(如降低噪声等)外,使用超导材料旨在降低损耗,但同时又要付出用于致冷所需的能量。若临界温度太低,以致从能量来看得不偿失,那就没有实用价值。例如,不适用于输配电。现有的氧化物陶瓷

超导材料 T_c 虽可高达 100 K 以上,但因陶瓷的加工性能不良,无法用于制造电线电缆。可用于制造超导薄膜传感器及约瑟夫逊电子元件等,在液氮温度(77 K)下工作,具有高速和低噪声的特点,当然也节能,可用电池供电。目前超导电磁铁已开始在某些特需的场合获得应用,因为它可以很小的体积制造出大功率电磁铁。用于制造大型高能粒子加速器、磁悬浮列车、医学断层扫描装置等。用于电机的超导绕组常用以金属 Nb、Ti 为主的超导材料,可以达到的允许电流密度为铜导线的 12 倍, T_c 为 18 K。此外,还正在试制超导电磁推进船。

(黄嘉豫)

chao daodian jili

超电机理 (mechanism of superconductivity)

超导体在临界温度下失去电阻转变成超导状态的规律和本质。某些金属、合金或化合物,在其温度下降到某一临界温度 T_c 以下时,其电阻率下降到零,同时呈现完全抗磁性,这种状态称为超导状态。它是在特定的、至今还不完全清楚的微观机理下产生的。具有超导电性的物体称为超导体。

对于绝大多数超导体,都存在对应的临界磁场 H_c 。只有外加磁场 $H < H_c$ 时,才能保持超导电性;当 $H > H_c$ 时,超导态即被破坏,通过相变而变为正常态。 H_c 是温度的函数,其值为

$$H_c = H_0 [1 - (T/T_c)^2]$$

式中 H_0 为 0 K 时的临界磁场。有些超导体只存在一个临界磁场,称为第一类超导体;有些超导体存在下及上两个临界磁场,称为第二类超导体。当外加磁场增强到下临界磁场时,第二类超导体内部形成超导态与正常态并存的混合态。当磁场继续加强达到上临界磁场时,超导体内的超导态完全消失而转化为正常态。同时,把足够强的电流,即临界电流 I_c 通过超导体时,也能破坏其超导状态。

超导状态最早是在 1911 年由荷兰物理学家 H. K. 昂尼斯(H. K. Onnes)发现的。当时他发现 Hg 样品在 4.2 K 的极低温度下,它的电阻在极小温度范围内急剧地下降到零。他因此获得了 1913 年诺贝尔物理奖金。1933 年 W. 迈斯纳(W. Meissner)等人发现了超导体具有完全抗磁性,它在外磁场中时只有极小的电磁场穿透深度,这种效应通称为迈斯纳效应。

最初,对各种超导现象都没有作出理论上的解释。直到 1935 年才由 F. 伦敦(F. London)和 H. 伦敦(H. London)兄弟在经典电动力学范围内建立了第一个比较完整的超导理论。由伦敦第一方程

$$E = \frac{m}{n_s e^2} j_s$$

式中 m 为电子质量; e 为电子电荷; n_s 为超导电子数密度。可以看到, 当电场强度 $E=0$ 时, 超导电流 j_s 为常矢量, 说明这是一种无电阻、无损耗的电流。另外, 由伦敦第二方程

$$\nabla \times j_s = -\frac{n_s e^2}{m} B$$

式中 B 为磁感应强度, 可以解释迈斯纳效应。但是伦敦方程是一种宏观的经典理论, 它不能从微观上解释超导现象出现的机理。由伦敦方程推算出的电磁场穿透深度 (约为 10^{-8}m 数量级) 也与实验事实有较大误差。

在超导微观理论方面, 至今最为成功的是 1957 年由 J. 巴丁 (J. Bardeen)、L. 库珀 (L. Cooper) 和 J. 施里弗 (J. Schrieffer) 共同完成的工作, 后来通称为 BCS 理论。按照这一理论, 超导电性的起因是费米面附近的电子之间通过交换声子而发生吸引作用, 因此, 这些电子能克服库仑斥力而两两结合, 形成自旋方向相反而总动量矩为零的电子对, 称为库珀对。超导电性的出现在本质上是一种量子效应, 大量库珀对电子的有序流动即形成超导电流, 它与普通导体中的正常态电子不同, 在流动中不会产生能量损耗, 这就解释了零电阻的本质。超导体受热时从外界吸收能量, 会使库珀对遭到破坏, 因此在温度 $T > T_c$ 时, 全部库珀对解体, 从面材料的超导电性不复存在。

超导体中的电子能级分布存在能隙, 能隙以下的电子必须吸收某一最小能量 Δ 才能被激发到能隙以上的状态。 Δ 值随温度而变化, 在绝对零度时, Δ 值最大, 记为 Δ_0 , 而在温度趋近 T_c 时 Δ 值迅速减小并趋于零。按照 BCS 理论, 每破坏一个库珀对, 超导体至少要吸收能量 2Δ , 并可推得 $2\Delta_0 = 3.53 kT_c$, 式中 k 为玻耳兹曼常数。对于绝大多数材料, Δ 值很小, 在 10^{-2}K 的极端低温下, 热运动就足以破坏所有库珀对, 因此只有在非常接近绝对零度时, 这些材料才会呈现超导电性。但对于某些材料, 在较高温度下仍有部分电子以库珀对形式存在, 使物体具有超导电性。BCS 理论较好地说明了当时已知的实验事实, 并成功地预言了若干新的超导现象, 因此巴丁、库珀和施里弗于 1972 年获得了诺贝尔物理奖金。

1962 年, 由 B. D. 约瑟夫森 (B. D. Josephson) 在理论上预言, 不久就由 P. 安德森 (P. Anderson) 和 J. 罗厄耳 (J. Rowell) 用实验观测证实, 如果两块超导体之间用一薄绝缘层 (厚度为 10^{-8}m 数量级) 隔开, 形成低电阻连结, 则库珀对可以越过量子力学隧道效应在结的两侧流通, 形成约瑟夫森电流, 并且产生各种特

殊的约瑟夫森效应。这一工作获得了 1973 年诺贝尔物理奖金。

超导电性具有极其广泛的应用前景, 但因人们过去获得的各种超导材料的临界温度 T_c 很低, 都在液氮温区, 使超导的实际应用受到很大限制。人们迫切希望在理论指导下寻找 T_c 较高的超导材料, 直到 1973 年, 制成的 Nb_3Ge 的 T_c 达到 23.2K 。以后又多年未能进一步提高。超导仅在极少数尖端科学或高技术领域中得到个别应用, 如超导磁铁、约瑟夫森器件等。1986 年后, 在超导研究中出现新的突破, 制成了多种新型超导材料, 其 T_c 可达到液氮温度甚至接近室温, 因此又颁发了 1987 年诺贝尔物理奖金。这些新材料的性质已不完全能用 BCS 理论解释, 各国学者正积极开展新的理论和实验研究工作。

参考书目

管惟炎等, 超导电性·物理基础, 北京: 科学出版社, 1981

Parks R. D. Superconductivity. Vol. 1, 1. New York: Marcel Dekker, 1969

(吴寿雄)

chaoqian buchang

超前补偿 (lead compensation) 为改善控制系统的动态响应速度而采用超前网络对系统进行的补偿。超前网络用得最广泛的是电网络, 也可能是机械的、气动的、液压的或者是它们的混合形式的网络。它的输出正弦信号的相位超前于输入正弦信号的相位, 且超前相位角是输入正弦信号频率的函数。

图 1(a) 为一电超前网络的原理图, 其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = a \frac{Ts + 1}{aTs + 1} = \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{aT}}$$

式中 $T = R_1 C$, $a = \frac{R_2}{R_1 + R_2} < 1$ 。相应的频率特性为

$$G_c(j\omega) = a \frac{j\omega T + 1}{j\omega aT + 1} \quad (0 < a < 1)$$

图 1(b) 为这一超前网络的极坐标图, 最大相位超前角 φ_m 出现在频率 $\omega = \omega_m$ 时, 其值为

$$\varphi_m = \arcsin \frac{\frac{1}{2}(1-a)}{\frac{1}{2}(1+a)}$$

图 1(c) 为这一超前网络的对数坐标图, $a=0.1$, 转角频率为 $\omega = \frac{1}{T}$ 和 $\omega = \frac{1}{aT}$, ω_m 是两个转角频率的几何中点, 即

$$\lg \omega_m = \frac{1}{2} \left(\lg \frac{1}{T} + \lg \frac{1}{aT} \right), \omega_m = \frac{1}{\sqrt{a} T}$$

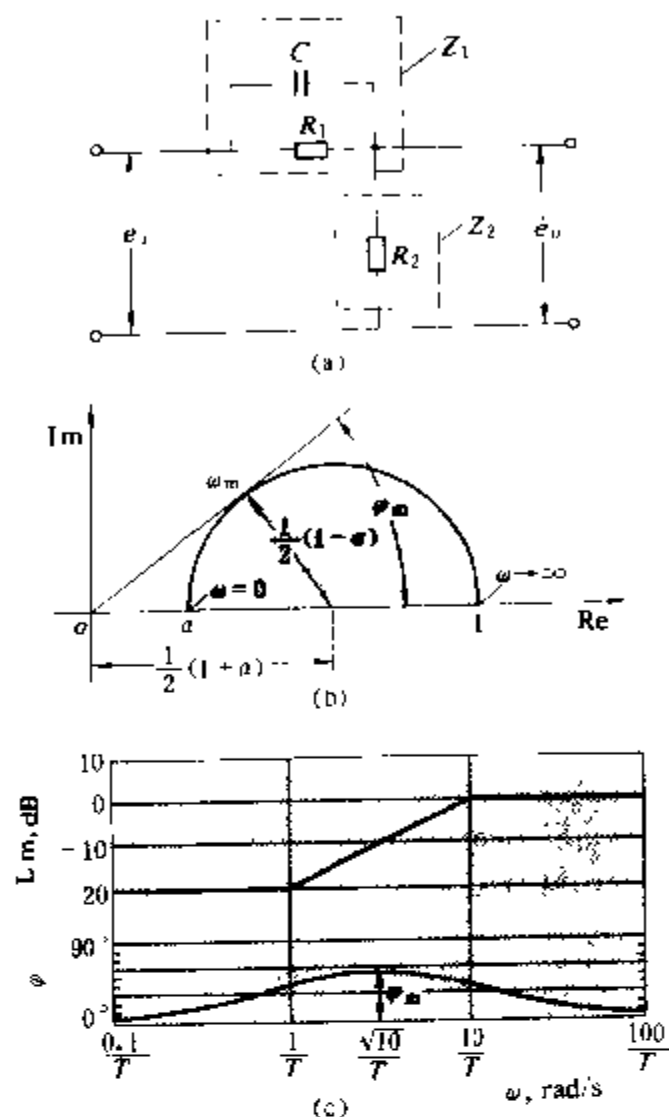


图1 电超前网络及其极坐标图和对数坐标图
(a) 网络图; (b) 极坐标图; (c) 对数坐标图

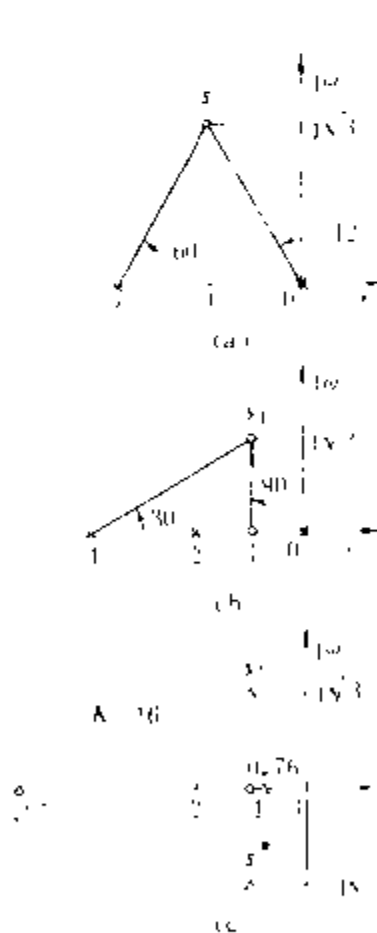


图2 超前补偿的例子
(a) 未补偿系统的开环极点; (b) 补偿网络的开环极点和零点; (c) 补偿后系统的开环极点和零点

们是方程 $s_1^2 + 2\zeta\omega_n s_1 + \omega_n^2 = 0$, $\zeta = 0.5$, $\omega_n = 2\text{rad/s}$ 的一对根 (见动态响应)。

图2(a) 示未补偿系统的开环极点 $s=0$ 和 $s=-2$ (二重), 希望 s_1 是闭环极点, 即 s_1 应该在根轨迹上 (见根轨迹法)。由图2(a) 可看出, 在 s_1 点, G_2 的相角为 $-120^\circ - 2 \times 60^\circ = -240^\circ$ 。根轨迹上的点, 相角应为 -180° , 因而串联补偿装置在 s_1 点的相角应为 60° 。选用 $G_c = \frac{s+1}{s+4}$ 可以符合这一要求, 如图2(b) 所示。 s_1^* 与 s_1 对于实轴对称。

用了上述超前补偿之后, 可以作出图2(c)。图上开环极点在 $0, -2$ (二重) 和 -4 , 开环零点在 -1 , 闭环极点在 $-1+j\sqrt{3}, -1-j\sqrt{3}, -0.76$ 和 -5.25 (对应于 $K=16$)。根轨迹在图中未示出。

超前补偿也可采用频率响应法进行设计。

(钱源平)

chengxu

程序 (program) 计算机为完成一定的任务而遵循的执行动作与步骤的序列, 或用程序设计语言对这一任务所作的描述, 是计算机程序的简称。通常, 程序包括程序规范说明与程序体两部分。程序规范说明是该程序“做什么”的概括描述; 程序体是其实现步骤, 即“如何做”的具体描述。程序都是用程序设计语言来书写的。

程序是软件的主体, 是软件研究的主要对象。衡量程序质量的准则是: 正确可靠、前明易读、易维护、易适应和时空开销合理。

系统程序 支持计算机系统工作且为所有计算机用户公用的程序。操作系统程序、各种语言的编译程序、编辑程序、调试程序以及作为程序量计环境的各种工具性程序, 都是系统程序。通常, 系统程序是同计算机本体一道提供给用户的。

应用程序 解决某特定领域的应用问题的程序。

子程序 程序中具有相对独立性的、构成程序的一种基本单位。子程序是程序控制抽象的一种方式, 在程序中它可被其他程序单位调用。

程序包 具有相对独立性的一组逻辑上相关的实体。程序包也是构成程序的一种单位。一般地说, 程序包中的实体包括数据类型、数据对象和子程序, 这些实体可被引用该程序包的外部程序使用, 但隐藏了程序包内部的实现细节。

(李精生)

chengxu sheji

程序设计 (programming) 设计、编写和

调试程序的过程。为了得出解决某一具体问题的程序,首先对该问题作需求分析,写出程序的规范说明,进行结构分析、结构设计,直至得出流程图。这就是设计阶段的任务。根据程序规范说明、结构设计或程序流程图,用某种程序设计语言书写出来并装入机器,就是编制程序。在机器上编译、检查与试运行程序,排除程序的错误,就是程序调试。

程序追求的目标首先是正确性,其次是效率,即时间与空间的节省。好的程序来源于好的程序设计方法。

程序设计方法学是一门研究程序设计各阶段工作的原理、方法和技术的学科。它的研究课题包括程序理论、研制技术、程序设计环境、工程规范及自动程序设计等。其基本内容有结构程序设计,程序理论在程序设计技术中的应用、程序的规范说明及程序变换技术、程序验证技术、程序推导技术、程序综合技术等。

程序设计是程序领域的基本活动。基本程序设计方法有两种:①自上而下的逐步求精法:先写出程序的粗略步骤,然后逐步把每个步骤分细,直到把每个步骤可以用程序设计语言直接写出为止;②自下而上的程序构造法:先写出某些底层的程序模块,然后用这些程序模块组合成更大的模块,重复这一过程,直至构造出整个程序。

除了上述两种基本程序设计方法之外,由于着眼点不同,还有:①并发程序设计;②分布式程序设计;③函数式程序设计;④面向对象的程序设计等。

并发程序设计 设计、编制与调试由若干个可并发运行的程序单位组成的程序的过程。可同时并发执行的程序单位叫进程。组成一个程序的若干个进程并行执行,以完成一个共同的目标。因此,进程之间需要同步和通信,以协调彼此的动作。并发程序设计的主要研究内容有:进程同步与通信,死锁的预防和检测,并发程序设计语言等。

分布式程序设计 设计、编制和调试可在分布式处理系统的多台处理机上同时协调运行的程序的过程。分布式程序设计的主要特征是分布与通信。进行分布式程序设计时,一个程序由分布于一个分布式处理系统的若干程序单位组成并且同时执行。在各处理机上的程序单元是相互关联的,在运行中需要同步与通信,以协调工作,完成一个共同的任务。

函数式程序设计 设计、编制与调试函数式程序的过程。用函数式语言书写的程序叫函数式程序,这些程序是用一些原始函数、定义函数等组成的函数表达式。从函数式程序设计的观点来看,程序设计语言可分两类:①强制性或过程性语言,即传统的程序设计语言,如 PASCAL, FORTRAN, COBOL, ADA 等。强

制性语言的程序用来执行一串按某种特定次序的命令,在完成这些命令之后就产生所需要的解答;②函数式程序设计语言,如“纯”LISP, FP 系统等。函数式语言的程序用来定义一种表达式,这种表达式是一组问题的解。然后,机器利用这种定义去产生关于这种问题中的特定问题的解答。

1977 年, J. 巴科斯 (J. Backus) 提出函数式程序设计系统(简称 FP 系统)。为了定义一个具体的 FP 系统,要指明一组原子,从而可推出对象的集合,对象集上定义的原始函数集合,组成公式的集合,由此可以推出可定义函数的集合。

函数式程序设计技术在研究传统的程序设计语言的语义、在人工智能领域以及在新一代计算机系统研究中都有着非常重要的意义。

面向对象的程序设计 按照面向对象的程序设计风格设计、编制和调试程序的过程。面向对象的程序设计把数据及操作结合在称为对象的实体之内。程序中的抽象对象,可以代表真实事物的任何真实对象。组织程序时,首先要设计程序中的对象。例如,在行文编辑程序中,对象可以是“行文的片断”,“指向行文的指针”,“窗口”。在电子线路程序中,对象可以是“电阻”,“电容”和“晶体管”等。对“行文片断”的操作可以是“插入”、“增加”、“删去”,对“窗口”的操作可以是“显示”、“擦去”、“移动”等。传统的面向控制的程序设计,把数据与操作分开来定义和处理,因此,程序模块与真实事物没有一致的联系。而面向对象的程序设计方法,把数据与操作结合在单一的对象中。面向对象的程序要用面向对象的程序设计语言编写。而面向对象的程序设计语言有 SIMULA、SMALLTALK、C++ 等。面向对象的程序设计语言的基本特征是它不仅支持数据与操作结合的数据抽象,而且支持抽象数据类型和类型继承。而面向对象程序设计方法的优点是:程序模块化有良好的自然基础,对象是基本的模块单位;程序结构清楚,易读易懂;程序设计过程容易实现增量式,即程序可逐步增加而不影响某些其他部分;程序具有良好的可重用性、可扩充性和可维护性。

(李赣生)

chengxu sheji yuyan

程序设计语言 (programming language)

用于书写计算机程序的语言。计算机程序语言是按一定规则构成的字符串的总体。定义语言的基本要素是字符集与规则集。按照一种程序设计语言的规则,并由它的字符集内的字符组成的字符串就是程序。规则包含语法规则与语义规则。语法规则规定了程序的构

造与形式, 语义规则表示程序的含义。

基本成分 程序设计语言的基本成分有: 数据、操作和控制。①数据: 用以表达程序中的数据对象; ②操作: 用以表达对程序中的数据所进行的操作; ③控制: 用以表达对数据的控制及对操作的控制。

分类 现有程序设计语言不下数百种, 而且在不断消亡、发展与新生。按照不同的分类原则, 产生不同的类别。

按接近机器的程度, 有低级语言、高级语言和极高级语言之分。程序设计语言是为人所用的, 所以要易懂、易写。程序设计语言要在计算机上实现, 因此要考虑便于实现。较接近于机器的程序语言称为较低级的语言, 汇编语言是符号化的机器语言, 是低级语言。较接近于人的自然语言的程序设计语言, 称为高级语言, 如 PASCAL、FORTRAN、COBOL、ADA 都是高级语言; C 语言是含有丰富的低级成分的较高级语言; C++ 语言是和 C 语言向上兼容的面向对象的高级语言。用高级语言书写的程序, 为了实现一定的计算任务, 一般要描述“做什么”及“如何做”。如果用某种程序语言书写程序时, 只需指明“做什么”, 无需指明“如何做”, 这个程序就能完成给定的任务, 这种程序语言就是“极高级语言”。例如 SETL 是一种极高级语言。事实上, “做什么”与“如何做”是相对的, 低级、高级和极高级语言, 也是相对而言的。

按照应用的范围, 有通用程序语言与专用程序语言之分。应用范围广泛的语言, 称为通用语言, 如 FORTRAN、PASCAL、COBOL、C、ADA 等都是通用语言。仅适合于单一领域的语言称为专用语言, 如 APT 语言。

按照程序的并发性质, 可以把程序设计语言分成顺序程序语言、并发程序语言和分布式程序语言。只含顺序成分的程序语言叫顺序程序语言, 如 FORTRAN、PASCAL、COBOL 都是顺序程序语言; 含有并发性语言成分的程序语言叫并发程序语言, 如并发 PASCAL、MODULA-2 和 ADA 都是并发程序语言。具有分布及通信的语言成分的语言叫分布式程序语言。

主要程序设计语言 到目前为止, 世界上已得到广泛应用的主要程序设计语言有:

(1) APT (Auto matically Programmed Tools) 语言。第一个专用程序设计语言, 用于数控机床编程。1956 年推出。

(2) FORTRAN (FORmula TRANslation) 语言。第一个通用高级程序设计语言, 特别适用于科学及工程计算问题。这个语言的应用范围最广泛, 历史最长, 至今仍有强大生命力。语言文本几经修改, 不断完

善, 较典型的版本有: FORTRAN I, FORTRAN N, FORTRAN 77 等。最早的 FORTRAN 发表于 1956 年。

(3) COBOL (COmmon Business Oriented Language) 语言。这是使用最广泛的商用、公用数据处理语言。1960 年推出。

(4) ALGOL 60 (ALGOritmetic Language 60) 算法语言。第一个用程序设计语言的语法严格形式定义的通用算法语言, 也是第一个引入分程序概念及递归过程的语言。它是以后发展的众多语言的基础。1960 年推出。

(5) BASIC (Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code) 语言。一种易学易用的通用交互式程序设计语言。由于概念简单, 对计算机内存要求较低, 因此多为微型机所采用, 它也是世界上使用最广泛的程序设计语言之一。

(6) LISP (LISt Processing) 语言。它是在人工智能领域广泛使用的表处理语言, 其特点是: 函数施用是其唯一的操作。1960 年推出。

(7) GPSS (General Purpose System Simulator) 通用系统仿真语言。广泛地专用于系统仿真的程序设计语言。1961 年推出。

(8) SIMULA (SIMUlation LAnguage) 67 语言。是一种仿真语言, 也是一种面向对象的程序设计语言。它是 ALGOL 60 的扩充, 它第一次引入了类 (class) 的概念, 是现代程序设计语言中的抽象数据类型、模块、信息隐藏等重要概念的先驱。1967 年推出。

(9) APL/360 (A Programming Language) 语言。一种主要用于科学与工程计算的程序设计语言, 特别适用于矩阵运算。1967 年推出。

(10) PASCAL 语言。在 ALGOL 60 基础上发展起来的通用语言, 也是按结构程序设计原则设计的程序语言, 特别适宜于教学。PASCAL 是 18 世纪法国数学家 Blaise Pascal 的名字。1971 年推出。

(11) C 语言。是一种具有精干表达式、现代控制结构与数据结构和一组丰富运算符的系统程序设计语言。它是 UNIX 操作系统下的主干语言。由于大部分微型计算机和小型计算机都装有 UNIX 系统, 因此, C 语言也是最为流行的程序设计语言。1973 年推出。

(12) ADA 语言。80 年代的现代公共基础语言。它是按照软件工程要求设计的语言, 特别适宜于嵌入式应用环境。ADA 语言反映了现代软件技术研究的最新成果。主要语言特征有: 强类型, 信息隐藏, 模块化, 分别编译, 多任务并发执行, 异常处理能力, 类属设施等。

(13) PROLOG (PROgramming in LOGic) 语

言。一种逻辑程序设计语言,已广泛用于人工智能、数理逻辑、关系数据库等领域。1973年推出。

参考书目

Sammet J E. Programming Languages: History and Fundamentals. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1969

Pratt T W. Programming languages: Design and Implementation. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984

(李贻生)

chongji dadianliu celiang

冲击大电流测量 (measurement of high-current impulse)

冲击大电流的峰值和波形的测量。常用分流器或罗戈夫斯基线圈与示波器或数字式瞬态记录仪(见数字采集系统)组成的测量系统来实现冲击大电流的测量,还可应用磁光效应的光电法来进行测量。

根据中国国家标准,要求冲击电流峰值的测量误差不大于 $\pm 3\%$,波形时间的测量误差不大于 $\pm 10\%$,为此测量系统的方波响应时间,在测量两种雷电冲击电流标准波形时,应不大于 $0.8 \mu s$ 或 $1.6 \mu s$ 。

分流器 一种用来测量冲击电流的传感器,它是

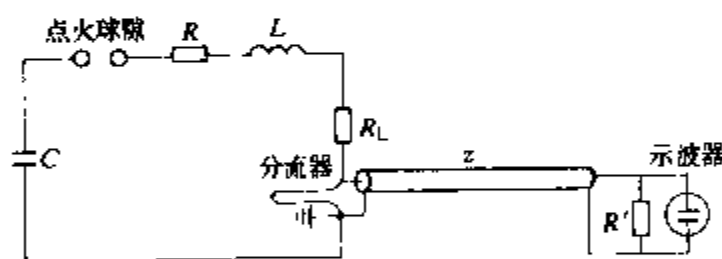


图1 分流器测量系统

C—储能电容; R—回路电阻; L—回路电感;
RL—负载; R'—匹配电阻; z—电缆波阻

一个串接在被测电路中的低阻值无感电阻器。测量被测电流流过分流器时所产生的电压降,可确定电流峰值及其波形。分流器的阻值一般为 $0.1 \sim 100 m\Omega$,要求它是阻值稳定的纯电阻。在材料选择和结构设计时,应考虑减小集肤效应和热效应的影响,有时还要求有良好的屏蔽。用分流器和示波器组成的测量系统,如图1所示。

分流器按结构分有:①带状对折式;②瓣状对折式;③同轴管式;④圆盘式等(见图2)。其中以圆盘式特性最佳。

罗戈夫斯基线圈 测量冲击大电流或它的变化率的一种感应线圈,又称为磁电位计。把作为二次线圈的罗戈夫斯基线圈围住载有被测大电流的单根导体(即为一次线圈),设两者之间的互感系数为M,则线

圈输出端的感应电动势 u_2 与被测电流变化率 $\frac{di}{dt}$ 成正比,即

$$u_2(t) = M \frac{di}{dt}$$

M与磁导率 μ 、线圈的几何尺寸及匝数有关,如果在线圈的两端接上积分器,就可得到与被测电流成正比的电压信号。积分器有两种,一种是电阻电感(RL)积分器,另一种是电阻电容(RC)积分器。

罗戈夫斯基线圈测量冲击电流的特点是性能稳定,线圈与冲击电流发生器放电回路无直接的电联系,可以测量几十到几百千安的冲击大电流。在图3中示明了它的测量原理。

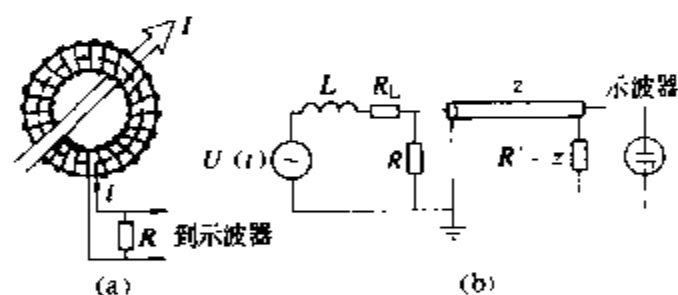


图3 罗戈夫斯基线圈测量冲击电流示意图
(a)测量原理;(b)接RL积分器时的整体接线图

(韩 旻)

chongji dianliu biao zhun boxing

冲击电流标准波形 (standard impulse current wave form)

见冲击电流发生器。

chongji dianliu fashengqi

冲击电流发生器 (impulse current generators)

在实验室中产生人工模拟的雷电流或操作波电流的装置。可用它检验电气设备耐受实际雷电流或操作波电流的热和电动力的能力,研究防雷措施的性能,接地体通过冲击电流时的特性等。装置特点是产生的电流持续时间短(从数微秒到数百微秒)和电流



图2 常用的几种分流器结构示意图

(a)带状对折式;(b)瓣状对折式;
(c)同轴管式;(d)圆盘式
1—电流输入端;2—电阻体;3—电位引出导体;4—同轴插座(图c)或同轴插头(图d);5—导体外圆套;6—绝缘填块

峰值很高(从数千安到几十千安)。

目前冲击电流发生器的应用已超出电力部门和电器制造部门。在等离子体物理、激光技术、加速器等近代科学技术领域中,对冲击电流峰值要求更高,持续时间更短,波形也各异。

冲击电流标准波形 中国国家标准 GB311.3-83《高电压试验技术第二部分·试验程序》规定的冲击电流标准波形有两种:一种是 $4/10 \mu\text{s}$ 或 $8/20 \mu\text{s}$ 的雷电

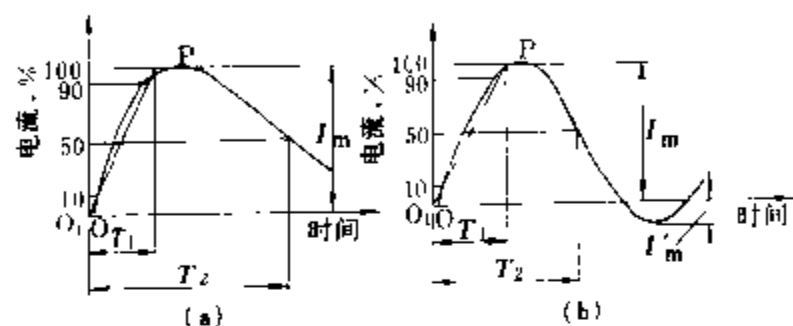


图1 $T_1/T_2(4/10 \text{ 或 } 8/20)\mu\text{s}$ 冲击电流波形

(a)单极性冲击电流波;(b)振荡性冲击电流波

O_1 —视在原点; T_1 —视在波前时间; T_2 —视在半峰值时间;

I_m —峰值电流; I'_m —反极性峰值电流

冲击电流波(图1);另一种是持续时间为 $500 \mu\text{s}$ 、 1000

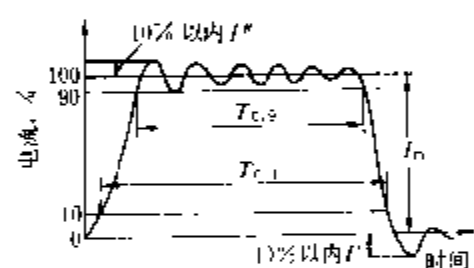


图2 矩形冲击电流波形

$T_{0.9}$ —峰值视在持续时间; $T_{0.5}$ —矩形波总持续时间; I'_m —峰值电流的振荡部分; I' —反极性峰值电流; I_m —峰值电流

μs 或 $2000 \mu\text{s}$ 的矩形冲击电流波(图2)。对雷电冲击电流波的主要要求是:峰值 I_m 的容许偏差为 $\pm 10\%$, 视在波前时间 $T_1(4 \text{ 或 } 8 \mu\text{s})$ 及视在半峰值时间 $T_2(10 \text{ 或 } 20 \mu\text{s})$ 的容许偏差为 $\pm 10\%$;对于矩形波,峰值的容许偏差为 $0 \sim +20\%$, 峰值视在持续时间的容许偏差为 $0 \sim +20\%$ 。

雷电波冲击电流发生器 产生 $4/10 \mu\text{s}$ 或 $8/20 \mu\text{s}$ 冲击电流的设备。图3为它的原理接线图,高电压大电容量的储能电容器 C 先由高压直流装置充电到一定的电压,触发装置点燃了点火球隙 FA 后,电容 C 经电感 L 、电阻 R 向试品 Z 放电。流过 Z 的电流峰值和波形由 C 上的充电电压 U 及回路中 R 、 L 、 C 及 Z 的参数所决定。假定回路处于临界阻尼条件,则

$$\text{电流} \quad i(t) = \frac{U}{L} t \exp\left(-\frac{R}{2L}t\right)$$

$$\text{电流峰值} \quad I_m = 0.736U/R$$

$$I_m \text{ 出现的时间} \quad T_m = \sqrt{LC}$$

当要求装置发生很大的电流时,常采用多台电容器并联放电。点火球隙 FA 是重要元件,要求它动作迅

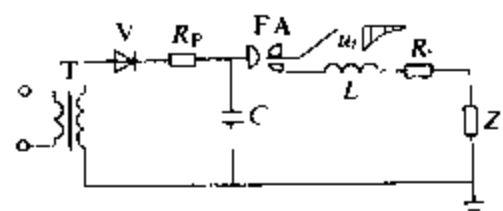


图3 冲击电流发生器原理图
 C —储能电容; FA —点火球隙; T —试验变压器; V —整流元件; R_p —保护电阻; L —回路电感; R —回路电阻; Z —试品

速,能耐受大电流的作用。冲击电流发生器中,通流导体之间存在着强大的电动力,该导体应具有足够的机械强度,以防止电动力的破坏。

矩形冲击电流波一般用人工传输

线的原理来产生。

参考书目

清华大学高电压技术专业编著. 冲击大电流技术. 北京: 科学出版社, 1978

(韩 曼)

chongji dianya fashengqi

冲击电压发生器 (impulse voltage generators) 产生人工模拟的雷电和操作冲击电压的装置。它所产生的冲击电压主要供绝缘的冲击耐压或放电试验之用。在大功率电子束和离子束发生器中以及二氧化碳激光器中,可用作电源装置。它是一组储能

高压电容器,自直流高压源充电几十秒钟,然后通过铜球隙突然经电阻放电,形成陡峭上升前沿的冲击电压波形。冲击波持续时间以微秒计,电压峰值一般为几十千伏至几兆伏。

冲击电压波形 冲击电压发生器可产生符合国际电工委员会(IEC)和中国国家标准推荐的雷电和操作冲击电压标准波形,以及各种非标准冲击电压波形。

雷电冲击电压标准波形 模拟雷电作用的典型冲击电压波形。它是正或负单极性的一次过程电压波,波形如图1所示。其中

O_1 为视在零点, T_1 为视在波前时间, T_2 为视在半峰值时间。标准规定 T_1 为 $1.2 \mu\text{s}$, 允许有 $\pm 30\%$ 的公差。 T_2 为 $50 \mu\text{s}$, 允许有 $\pm 20\%$ 的公差。波峰值允许有 $\pm 3\%$ 的公差。波形可简单表示成 T_1/T_2 , 如 $1.2/50$ 波等。

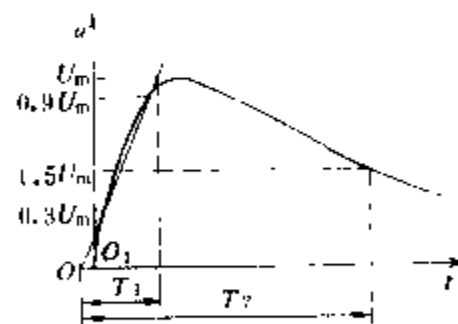


图1 雷电冲击电压标准波形
 O —实际零点; O_1 —视在零点; U_m —电压峰值; T_1 —视在波前时间; T_2 —视在半峰值时间

操作冲击电压标准波形 模拟电力系统中因操作或事故所造成的过电压冲击波。一般规定的标准波形如图2所示。波前时间 T_1 为 $250 \mu\text{s}$, 允许有 $\pm 20\%$ 的

公差;半峰值时间 T_2 为 $2500 \mu s$, 允许有 $\pm 60\%$ 的公差。试验变压器类型电器内绝缘的波形, 另有规定。

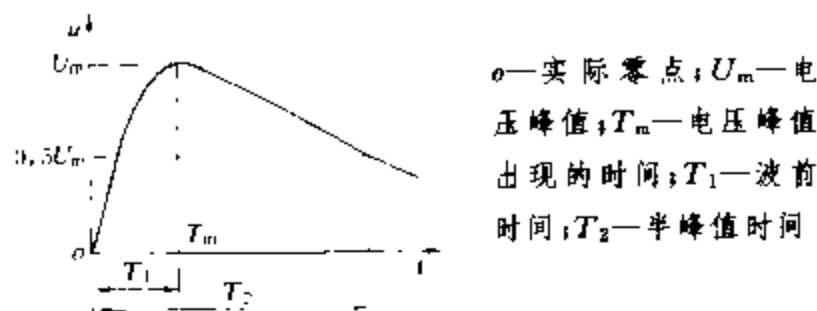


图2 操作冲击电压标准波形

基本原理和回路 如图3所示, 电容 C_1 先经整流电源(由变压器 T 、硅整流器 V 、电阻 r 组成)充电。当 C_1 上电压到达 U_0 时, 球隙 FA 击穿, C_1 经电阻 R_2 放电, 并经波头电阻 R_1 向试品的等效电容 C_2 充电。当 C_2 上的电压到达 U_{2m} 之后, 因经 R_1 及 R_2 放电, 使电压 u_2 逐渐下降。一般 $C_1 \gg C_2$, $R_2 \gg R_1$ 。所以, u_2 的上升时间很短, 经峰值后下降相对较慢, 由此可以形成所期望的冲击波。

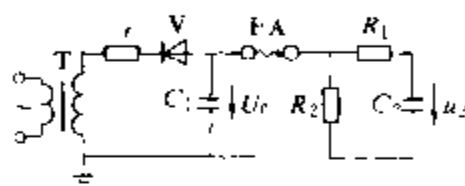


图3 最简单的冲击电压发生器原理接线

T —充电用升压变压器; r —保护电阻; V —硅整流器; C_1 —高压电容器的电容; FA —隔离球隙; R_1 —波前时间调节电阻; R_2 —放电电阻; C_2 —试品及其他负荷电容; U_0 — C_1 的充电电压; u_2 —输出电压

按图3的放电回路可得

$$u_2(t) = \frac{U_0}{k(\beta - \alpha)} [\exp(-\alpha t) - \exp(-\beta t)]$$

$$\text{式中 } \alpha, \beta = \frac{a}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b}$$

$$a = \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1} \right)$$

$$b = \left(\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right), k = R_1 C_2$$

当冲击电压波形确定后, α 和 β 也就确定了, 以 $1.2/50 \mu s$ 波为例, $\alpha \approx 0.01466 \mu s^{-1}$, $\beta \approx 2.469 \mu s^{-1}$; 对 $250/2500 \mu s$ 波, $\alpha \approx 317 s^{-1}$, $\beta \approx 0.016 \mu s^{-1}$ 。视在波前时间 $T_1 \approx 3.24 R_1 \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$; 视在半峰值时间 $T_2 \approx 0.69 R_2 (C_1 + C_2)$ 。

对于大型冲击电压发生器应考虑回路实际存在的电感 L 对视在波前时间的影响。上述估算波前时间的系数 3.24 会有所减小。

多级马克思回路 产生较高冲击电压的多级回路。德国人 E. 马克思 (E. Marx) 为此于 1923 年获得专利, 被称为马克思回路。一种较流行的多级回路如图4所示。该图中以四级为例, 可以推广到更多级。四个电容器 C 并联充电, 当达到预定电压时, 在 $FA1$

的发火球上送入数千伏的点火脉冲, 促使 $FA1$ 的击穿, 然后 $FA2 \sim FA4$ 相继击穿, 四级电容器形成串联, 产生了较高的冲击电压。图4在放电时刻的等值电路就可以画成图3。其中 $R_1 = 4r_1$, $R_2 = 4r_4$, $C_1 = C/4$ 。推广到 n 级时, 上述数字 4 可用 n 取代。通过这种回路可用较低的充电电压产生较高和很高的冲击电压。

特性参数 主要特性参数有标称电压、电压效率、标称能量、额定冲击电容等。

标称电压 若每级标称充电电压为 U_N , 一共为 n 级, 则标称电压为 nU_N 。现已有 10 MV 的冲击电压发生器。

电压效率 η 若最高的实际输出电压为 U_{2m} , 则电压效率 η 为 $U_{2m} / (nU_N)$ 。一般产生 $1.2/50 \mu s$ 波时的电压效率为 $0.8 \sim 0.9$ 。

标称能量 W 以图3为例, 设 U_0 为电容器的额定充电电压, 则 $W = \frac{1}{2} C_1 U_0^2$ 。大型冲击电压发生器的 W 值可达几百千焦的数量级。

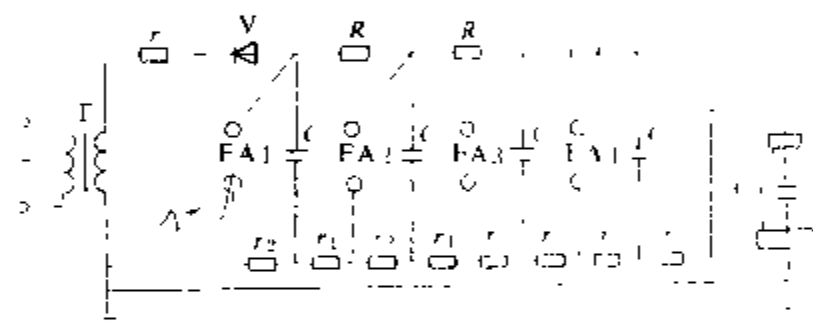


图4 马克思冲击电压发生器回路接线图

T —升压变压器; r —保护电阻; V —高压硅堆; C —高压电容器; $FA1$ —发火球隙; $FA2$ 、 $FA3$ 、 $FA4$ —中间球隙; r_1 —每级的调节波前的电阻; r_2 —每级的放电电阻; C_2 —试品及其他负荷电容

额定冲击电容 若为 n 级, 每级电容为 C , 则额定冲击电容 $C_1 = C/n$ 。为了电压效率不致过低, C 应比试品及其他负荷电容 C_2 大得多。一般为几十个纳法拉 (nF) 数量级。

结构 用绝缘结构把多台电容器架设起来, 使电容器之间和对地之间, 保持必要的距离。多数部门的冲击电压发生器安装在实验室内。特高参数的则安装在室外。为了限制电感数值, 以避免波形振荡, 结构要求设计得很紧凑。有的物理研究部门为产生很陡的冲击波, 把整个发生器浸在绝缘油或压缩气体的绝缘容器内。

参考书目

张仁豫主编, 高电压试验技术, 北京: 清华大学出版社, 1982

(陈昌彦)

chongji gaodianya celiang

冲击高电压测量 (measurement of high impulse voltages) 见高电压测量。

chongji jianliuji

冲击检流计 (ballistic galvanometer) 见检流计。

chongji xiangying

冲激响应 (impulse response) 线性系统对单位冲激函数输入的动态响应。

下面介绍单位冲激函数与脉冲函数。

脉冲函数 $p_{\Delta}(t)$ 定义为

$$p_{\Delta}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta}, & 0 < t < \Delta \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

即 $p_{\Delta}(t)$ 是这样—个矩形脉冲:

其高度为 $\frac{1}{\Delta}$, 宽度为 Δ , 起点为 $t=0$ 。不论正参量 Δ 为何值, 在曲线 $p_{\Delta}(t)$ 下面的面积总

图1 脉冲函数

$p_{\Delta}(t)$

为1。见图1。

单位冲激函数(狄拉克函数, δ 函数) $\delta(t)$ 可以表述为

$$\delta(t) = 0, t \neq 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{或者表述成普} \\ \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \end{array} \right. \quad \text{通函数的形式} \quad \delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \infty, & t = 0 \end{cases}$$

单位冲激函数 $\delta(t)$ 是脉冲函数 $p_{\Delta}(t)$ 在 $\Delta \rightarrow 0$ 时的极限。

上述两种函数, 在某些文献中未予以区分, 都称之为“脉冲”函数, 很容易引起混淆。

线性定常系统的传递函数为 $G(s) = Y(s)/X(s)$, 在系统的输入为单位冲激函数时, $X(s) = 1$, 这时 $G(s)$

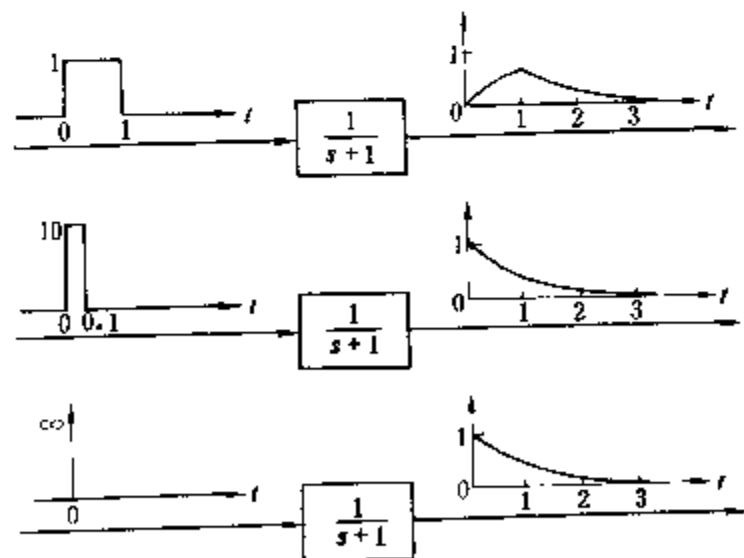


图2 一阶系统对脉冲输入信号和冲激输入信号的响应

$=Y(s)$, 取拉普拉斯反变换, 可求得单位冲激响应函数 $g(t) = y(t) = \mathcal{L}^{-1}[G(s)]$, 它是系统所固有的。

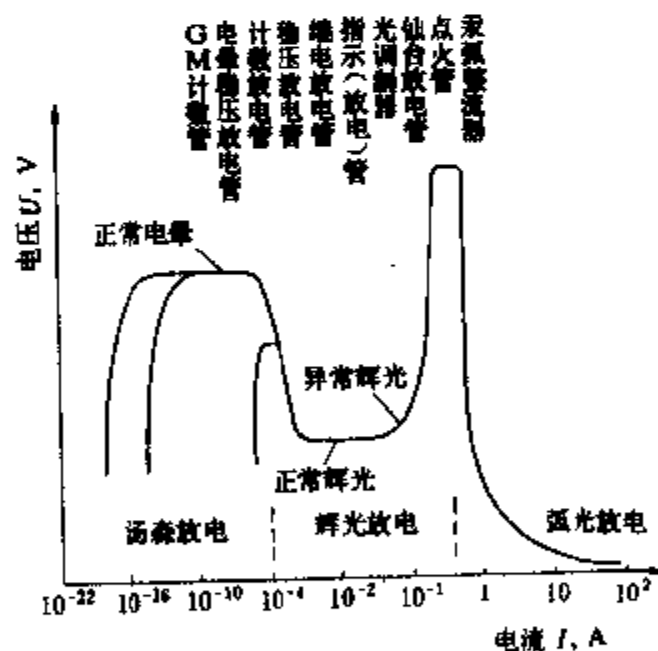
若以冲激输入量作用于系统, 并测定系统的响应, 就可以获得有关系统动态特性的全部信息。典型的一阶系统和二阶系统的单位冲激响应见动态响应。在实践中, 与系统的时间常数相比, 持续时间短得多的脉冲输入信号, 可以看成是冲激。图2表明, 如果脉冲输入信号的持续时间小于时间常数(在图中, 为1)的10%, 则系统的响应将非常接近于系统对单位冲激信号的响应。

如果当时间趋于无穷大时, 一个系统的冲激响应趋近于零, 则系统是稳定的。

(邱家驹)

chongqiguan

充气管 (gasfilled tube) 电特性基本上是由有意引入的气体或蒸气的电离作用所决定的一种电子管, 又名离子管。在充气管内, 电子在电极间运动时与气体原子和分子碰撞, 产生电离现象, 运动较慢的正离子抵消电子的负空间电荷作用, 使管子具有电流大、内阻低的特点。充气管内放电形式取决于管子结构、气体种类、气压和外电路参数。冷阴极放电的伏安特性和放电形式如图所示。人们利用各种放电形式的不同特性制造出一系列不同性能的充气管。充气管分为冷阴极型、热阴极型和汞弧管等。



冷阴极放电的伏安特性和放电形式

冷阴极放电管 阴极发射电子是靠二次电子来供给的, 即由于放电使正离子与阴极相碰撞, 产生二次电子。冷阴极放电管主要包括: 稳压管、触发管、GM计数管和指示放电管。

(1) 稳压管: 在正常辉光放电区或电晕放电区内, 当电流在一定范围内变化时, 电极间的电压基本不变。辉光放电稳压管用于低电压, 较大电流; 电晕放电稳压

管用于高电压,小电流(数百伏到 30 kV,1 mA 左右)。用它构成的直流稳压器,当输入电源电压或与稳压管并联的负载电流变化时,使流过稳压管的电流产生相应的改变,从而使负载两端的电压基本保持不变。

(2) 触发管:又称为冷阴极闸流管。它是利用加到触发极(启动极)的信号来控制放电的一种冷阴极充气管,分为辉光放电型、弧光放电型和火花放电型。辉光放电触发管的电流一般为几十毫安,弧光放电型触发管的脉冲电流达几千安,高压火花放电型触发管脉冲电流可达几万安。

(3) 盖革-弥勒(GM)计数管:这是放射性计数管。它由线性阳极和与阳极同轴的圆筒形阴极构成,是管内充有了惰性气体和熄灭气体的二极管。每当射线进入管子时使产生电晕放电,但由于有熄灭气体(卤素气体等)放电很快停止,成为脉冲状放电,故能够进行计数。

(4) 指示放电管:主要是利用氖气的辉光放电所发出的明亮的橙色光显示数字或文字等。数码管中有 0 到 9 的数字形状的细阴极线,并使之重叠,而在其对面有一个网状阳极,这种结构的数码管一直沿用至今。还制成有小型板状七段多位数码指示管。它与发光二极管和液晶等显示器件相比,成本较高,但可制成大型指示管,且色彩明亮醒目。此外,还有用等离子显示板等点阵方式制成位数多的文字、数字和图象显示,主要用于电子计算机终端等。

除上述几种管子外,在冷阴极充气管中还有十进制计数管、光调制管、转换放电管等。

热阴极放电管 有热阴极充气二极管和具有控制极的闸流管。热阴极充气二极管是一种非自持弧光放电管,采用镍制阳极和钍钨阴极或金属氧化物阴极,管内充以惰性气体、氢气或汞。阴极靠热电发射电子。当阳极加正向电压达到着火电压时,气体电离,产生弧光放电;当阳极电压变负时管子不能反向导电而熄灭。管子具有单向导电性,因此利用它进行整流。钨氩整流管(Tungan 管)是低压整流管(电压 200 V 以下,电流达 15 A),常用于蓄电池充电。高压整流放电管耐压可达 20 kV,平均电流可达 15 A,常用作通信装置电源。闸流管是具有控制特性的热阴极放电管,用于可控整流。

汞弧管 一种用石墨作阳极,用水银池作阴极,能在汞蒸气中产生自持弧光放电的充气管。电子发射来自阴极表面而在强电场作用下的几个或一小片阴极辉点。汞弧管电压降低,能导通几万安培的大电流,过载能力强,适用于大电流控制和整流,但它体积大、使用不方便,近年来,已被半导体器件所取代。

用插入水银中的引燃极来激励阴极辉点从而起

电弧的汞弧管称引燃管,其特点是电流容量大,峰值负载强,过去曾广泛用于电焊机和可控整流。

由于半导体器件的发展,某些类型的充气管(如汞弧管,热阴极充气二极管,十进制计数管,稳压管等)已部分地被半导体器件所取代。但有些管型,如氢闸流管、触发管、等离子体指示器等仍然有所发展,在国防及国民经济各领域中仍有广泛应用。

(张志清)

chufaqi zhuanhuan dianlu

触发器转换电路 (conversion circuit for flip-flop)

将具有某一种逻辑功能的触发器转换为具有另外一种逻辑功能的触发器的附加电路。因为目前生产的集成触发器产品多数是 JK 触发器和 D 触发器,所以经常要求把它们转换为具有其他逻辑功能的触发器以满足使用上的需要。

JK 触发器转换为 RS、D、T 触发器 图 1 是将 JK 触发器转换为 RS 触发器时的接法,这时不需要附加

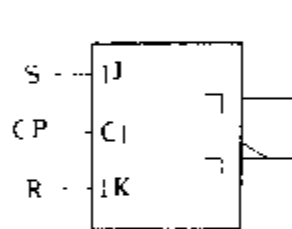


图 1 JK 触发器转换为 RS 触发器

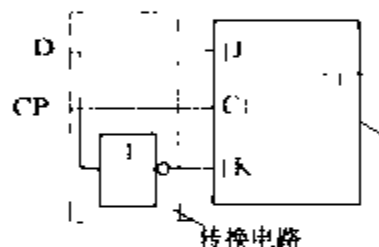


图 2 JK 触发器转换为 D 触发器

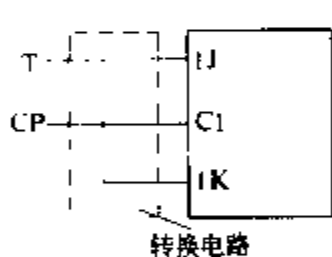


图 3 JK 触发器转换为 T 触发器

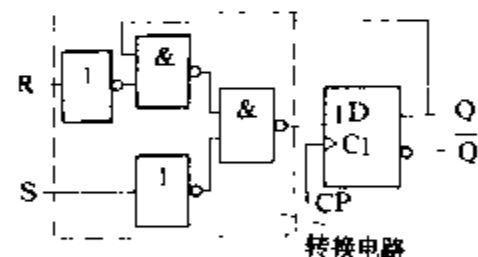


图 4 D 触发器转换为 RS 触发器

任何转换电路,只要将 J、K 端分别作为 S、R 端使用即可。将 JK 触发器转换为 D 触发器时,需附加由一个反相器组成的转换电路,如图 2 所示。将 JK 触发器转换为 T 触发器

时,只须把 J 和 K 连在一起作为 T 输入端,如图 3 所示。

D 触发器转换为 RS、T、JK 触发器 图 4 是将 D 触发器转换为 RS

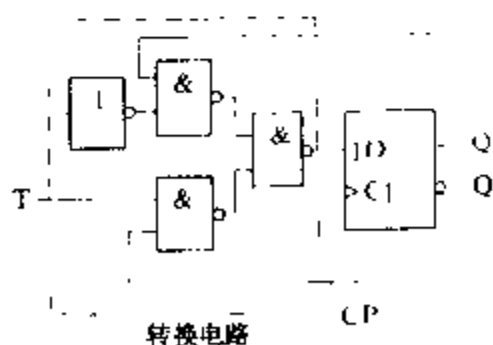


图 5 D 触发器转换为 T 触发器

触发器的连接方法,它的转换电路由四个与非门组成。

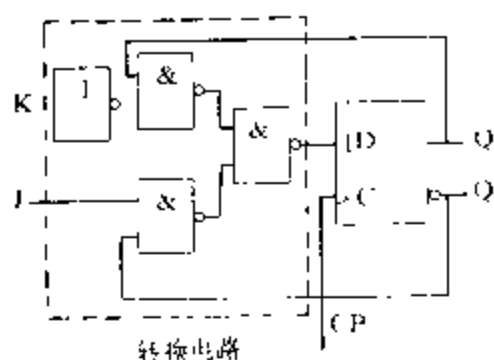


图 6 D 触发器转换为 JK 触发器

转换电路各由四个与非门组成。

不过在 $S=R=1$ 时触发器的次态 $Q^{n+1}=1$, 不再是不定状态。

图 5 和图 6 分别是将 D 触发器转换为 T 触发器和 JK 触发器的连接方法, 它们的转

(阎石)

chuanbo changshu

传播常数 (propagation constant) 见传输线。

chuandi hanshu

传递函数 (transfer function) 初始条件为零时, 线性定常系统输出量的拉普拉斯变换与输入量的拉普拉斯变换之比。传递函数是研究经典控制理论的主要工具之一。

设有一线性定常系统, 其微分方程为

$$a_0 \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y = b_0 \frac{d^m x}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_{m-1} \frac{dx}{dt} + b_m x \quad (n > m)$$

式中 $y=y(t)$ 为系统的输出量; $x=x(t)$ 为系统的输入量。初始条件为零时, 对上式两端分别取拉普拉斯变换, 可得

$$(a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n) Y(s) = (b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m) X(s)$$

式中 $Y(s)$ 、 $X(s)$ 分别是 $y(t)$ 、 $x(t)$ 的象函数。将上式改写为

$$Y(s) = G(s) X(s)$$

$$\text{式中 } G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

$$= \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}$$

可以看出, $X(s)$ 乘以 $G(s)$, 就得 $Y(s)$, $G(s)$ 起着输入量到输出量的传递作用, 因而称它为传递函数。传递函数分母多项式中 s 的最高阶数 n , 就是输出量高阶导数的阶数, 这种系统就叫 n 阶系统。传递函数表述了系统本身的特性, 它不随输入量的不同而变化。传递函数不表明系统的物理结构, 许多物理性质不同的系统, 可以

有相同的传递函数。几种典型环节的传递函数列于下表中 (见环节中的图 1~图 5)。

几种典型环节的传递函数

环 节	方 程	传递函数
比例环节	$y=Kx$	K
一阶惯性环节和比例环节	$T \frac{du_o}{dt} + u_o = Ku_i$	$\frac{K}{Ts+1}$
微分环节和比例环节	$u_o = KT \frac{du_i}{dt}$	KTs
积分环节和比例环节	$\theta = K \int u_i dt, x_o = K \int x_i dt$	$\frac{K}{s}$
二阶环节和比例环节	$T_1 T_2 \frac{d^2 u_o}{dt^2} + T_1 \frac{du_o}{dt} + u_o = Ku_i$	$\frac{K}{T_1 T_2 s^2 + T_1 s + 1}$
纯滞后环节	$y(t) = x(t-\tau)$	$e^{-\tau s}$

无负载效应时串联系统的传递函数 若系统由两个元件或环节串联组成, 元件之间无负载效应, 则消去中间的输出量和输入量, 便可得到系统的传递函数。例如, 对于图 1(a) 所示的系统, 各元件的传递函数分别是

$$G_1(s) = X_2(s)/X_1(s), G_2(s) = X_3(s)/X_2(s)$$

若元件之间的负载效应可以忽略, 则整个系统的传递函数为

$$G(s) = \frac{X_3(s)}{X_1(s)} = \frac{X_2(s) X_3(s)}{X_1(s) X_2(s)} = G_1(s) G_2(s)$$

如图 1(b) 所示。

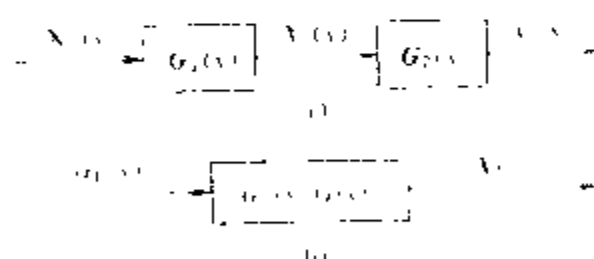


图 1 元件之间无负载效应的串联系统及其等效系统

(a) 系统图; (b) 图 (a) 的等效系统图

无负载效应时, 传递函数分别为 $G_1(s)$, $G_2(s)$, ..., $G_n(s)$ 的 n 个元件串联组成的系统, 传递函数为

$$G(s) = G_1(s) G_2(s) \dots G_n(s)$$

有负载效应时串联系统的传递函数 如图 2 所示的两个 RC 电路串联构成的系统, 第二级电路对第一级电路有负载效应, 系统的传递函数不等于两元件传

递函数 $1/(R_1C_1s+1)$ 和 $1/(R_2C_2s+1)$ 之乘积, 而为

$$G(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{R_1C_1R_2C_2s^2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2)s + 1}$$

在元件之间引入隔离元件 (例如隔离放大器) 可以去掉负载效应, 如图 3 所示的系统, 其传递函数为

$$G(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)}$$

$$= \frac{K}{(R_1C_1s + 1)(R_2C_2s + 1)}$$

并联系统的传递函数 如图 4 所示, n 个元件的

传递函数分别为 $G_1(s)$,

$G_2(s), \dots, G_n(s)$, 整个系统的传递函数为

$$G(s) = G_1(s) + G_2(s) + \dots + G_n(s)$$

图 3 有隔离放大器的

两级 RC 电路

零点和极点

系统的传递函数 $G(s)$ 是复

变数 s 的函数, 经整理, $G(s)$ 可写成如下的有理真分式形式

$$G(s) = \frac{K(s - z_1)(s - z_2)\dots(s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2)\dots(s - p_n)} \quad (n > m)$$

式中 z_1, z_2, \dots, z_m 称为系统的零点, 零点是 $G(s)$ 分子多项式等于零的根,

在这些点上, $G(s) = 0$

(另有 $n - m$ 个开环零

点在无穷远处); $p_1, p_2,$

\dots, p_n 称为系统的极

点, 根点是 $G(s)$ 分母多

项式等于零的根, s 趋

近于这些点, $G(s) \rightarrow \infty$ 。

零点和根点用于控制系统的分析和设计。

要区分清楚是闭环系统还是开环系统的零点和极点。

(徐瑞德)

chuandi hanshu juzhen

传递函数矩阵 (transfer function matrix)

表示线性定常控制系统输入向量对状态向量、输入向量对输出向量传递关系的矩阵。用于多输入多输出控制系统的分析研究。

简单系统的传递函数矩阵 一控制系统的状态空间表达式如下

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad \text{简写为 } (A, B, C, D) \quad (1)$$

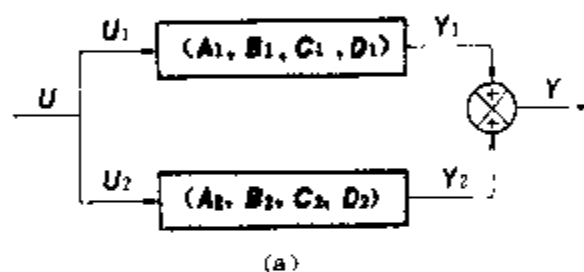
式中 x 为 n 维状态向量; y 为 q 维输出向量; u 为 p 维输入向量; A 为 $n \times n$ 维系统矩阵; B 为 $n \times p$ 维输入矩阵; C 为 $q \times n$ 维输出矩阵; D 为 $q \times p$ 维前馈矩阵。

假定系统初始状态为 0, 其拉普拉斯变换后的表达式为

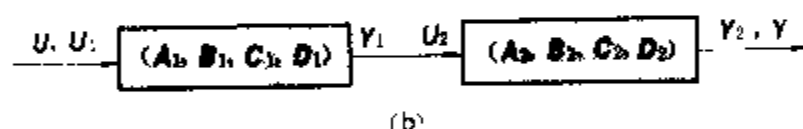
$$\begin{cases} X(s) = (sI - A)^{-1}BU(s) \\ Y(s) = [C(sI - A)^{-1}B + D]U(s) \end{cases} \quad (2)$$

式中 $(sI - A)^{-1}B$ 称为输入-状态传递函数矩阵; $C(sI - A)^{-1}B + D$ 称为输入-输出传递函数矩阵, 简称传递函数矩阵, 它是一个 $q \times p$ 维矩阵, 它的每一个元素反映了某个输入变量对某个输出变量的传递函数。一个控制系统的传递函数矩阵是一定的, 不因坐标变换而变化。

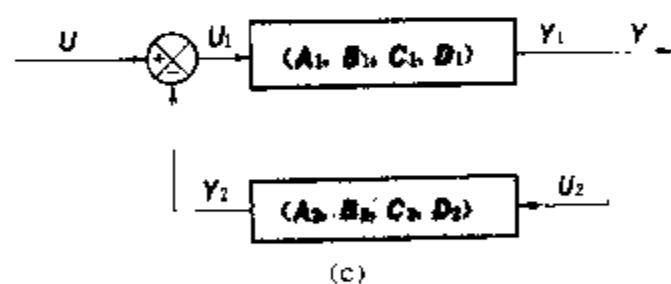
复杂系统的传递函数矩阵 实际的控制系统往往由多个子系统组合而成, 或并联, 或串联, 或形成反馈连接, 或是它们的组合。组合系统的输入-输出传递函数矩阵可由各子系统的输入-输出传递函数矩阵组



(a)



(b)



(c)

基本组合系统框图

(a) 两个子系统的并联; (b) 两个子系统的串联;
(c) 由反馈子系统构成

合而成。图为基本组合系统的框图。图 (a) 示两个子系统的并联, 其输入-输出传递函数矩阵 $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$, 式中 $W_1(s), W_2(s)$ 分别为子系统 (A_1, B_1, C_1, D_1) 和 (A_2, B_2, C_2, D_2) 的输入-输出传递函数矩阵。图 (b) 示两个子系统的串联, 其输入-输出传递函数矩阵为 $W(s) = W_2(s)W_1(s)$ 。图 (c) 示由反馈子系统构成的组合系统, 其输入-输出传递函数矩阵为 $W(s) = W_1(s)[I + W_2(s)W_1(s)]^{-1}$ 或 $W(s) = [I + W_1(s)W_2(s)]^{-1}W_1(s)$ 。

当控制系统维数不高时,可直接由 $\frac{\text{adj}(sI-A)}{|sI-A|}$

求得 $(sI-A)^{-1}$, 其中 $|sI-A|$ 为 $(sI-A)$ 矩阵的行列式, $\text{adj}(sI-A)$ 为 $(sI-A)$ 矩阵的伴随矩阵。当控制系统维数较高时,这样的方法计算过程太复杂,可用其他更简便的方法。

对许多实际系统而言, D 矩阵往往是 0 矩阵, $|sI-A|$ 的根为系统的极点, $C\text{adj}(sI-A)B$ 中各元素多项式的根为系统的零点。存在零点、极点相消的情况下,传递函数矩阵就不能完全描述系统的运动规律及性能,只能反映系统完全可控和完全可观测部分的情况。

参考书目

郑大钟,石纯一.自动控制原理与系统.北京:国防工业出版社,1980

(顾锦汶)

chuanshuxian

传输线 (transmission lines) 连接两个或多个终端用以传输电能或电信号的导体系统。例如连接发电厂、变电所及负载的是电力传输线,连接电话用户和电话交换机的是电话传输线等。在电工技术中,传输线一词常指其长度与其所传输的交变电压、电流的波长相比不是很小的传输系统。在这样的传输线上,电压、电流不仅是时间的函数,还是空间坐标的函数。它们在传输线上的分布,明显地表现出行波现象具有的特征。分析这种电路时,必须考虑电路元件参数的分布性,作为分布参数电路来处理。例如,电力系统的频率为 50 Hz,架空输电线上的波长约为 6000 km,所以只有长度为数百公里的输电线才被视为传输线。对于其长度远较其工作频率下的电磁波长为短的传输系统,就往往不作为传输线看待。但在暂态过程中,研究急剧变化的电磁过程,都有必要将远比上述长度为短的输电线作为传输线考虑。

传输线分类 按照其中导体结构及其周围电磁场的特征,传输线可分为架空传输线、同轴线、电缆等。传输线的横向尺寸远小于其工作频率下的波长,都以横电磁模 (TEM) 方式传输电能或信号。微波电子技术中用的波导是用来约束或引导电磁波的结构,是一种特殊的传输线,用于传输厘米波和毫米波,它是以横电模 (TE)、横磁模 (TM) 等方式工作的。图 1 中是几种常见传输线的横截面示意图。

架空传输线 以架空方式装设的传输线。常由两根或多根导线组成,也有用一根架空导线,以大地作为回线的传输线。架空传输线建造费用低,维护方便,在低频和中频下损耗低。但它存在相邻导线间的电磁耦

合,从而造成电磁干扰。绝大多数电力传输线都是架空线。

同轴传输线 有两个同轴的柱形导体,如图 1 (c) 所示。外导体常用带状导体或编织导体制成,内导体可以是单股或多股导线,两导体间有绝缘物。这种结构可以防止传输线的辐射和外界电磁干扰。同轴传输线在高频技术如无线电、雷达、电视中有广泛的应用。

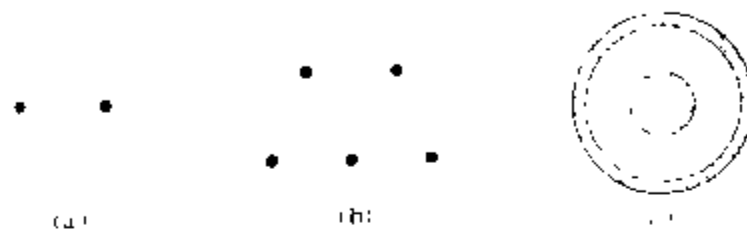


图 1 几种常见传输线的横截面

(a) 平行双导线; (b) 平行多导线; (c) 同轴线

铠装电缆 两根或多根导线,用绝缘材料包裹后包在圆柱形导电外皮中的传输线。导体外皮有电磁屏蔽和机械保护作用。城市中多用电缆作为电力传输线。

均匀传输线方程 凡是其电路参数沿线路不变的传输线称为均匀传输线,否则称为不均匀传输线。均匀传输线可以用图 2 中的双导线模型来表示和分析。此模型中的参数 R_0 、 L_0 分别是单位长度的线路电阻、电感; G_0 、 C_0 分别是单位长度线路两线间的电导、电容。它们是不变的常数。线上电压 $u(x,t)$ 和电流 $i(x,t)$ 所满足的微分方程是

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial u}{\partial x} &= R_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial x} &= G_0 u + C_0 \frac{\partial u}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 x 是长度坐标; t 是时间。这就是均匀传输线方程,又称电报方程。

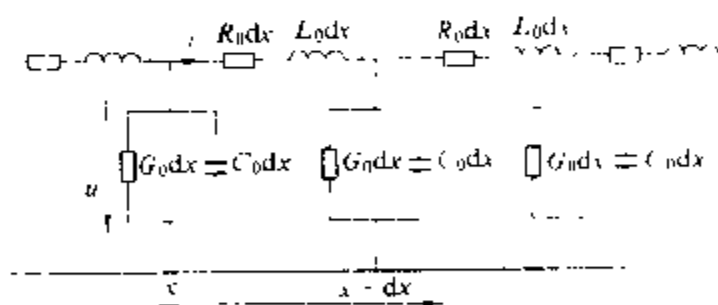


图 2 双导线传输线的电路模型

在正弦电流稳态下,线上电压相量 $\dot{U}(x)$ 、电流相量 $\dot{I}(x)$ 满足如下方程

$$\left. \begin{aligned} -\frac{d\dot{U}}{dx} &= Z_0 \dot{I} \\ -\frac{d\dot{I}}{dx} &= Y_0 \dot{U} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 $Z_0 = R_0 + j\omega L_0$; $Y_0 = G_0 + j\omega C_0$; $\omega = 2\pi f$, f 是频率。在正弦电流稳态下, 上式的解就是线上电压相量 $\dot{U}(x)$ 和电流相量 $\dot{I}(x)$ 的沿线分布

$$\begin{cases} \dot{U}(x) = \dot{U}_1 e^{-\gamma x} + \dot{U}_r e^{\gamma x} \\ \dot{I}(x) = \frac{\dot{U}_1}{Z_c} e^{-\gamma x} - \frac{\dot{U}_r}{Z_c} e^{\gamma x} \end{cases} \quad (3)$$

式中 $Z_c = \sqrt{Z_0/Y_0}$, $\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0}$, $\dot{U}_1 = \frac{1}{2}(\dot{U}_1 + Z_c \dot{I}_1)$, $\dot{U}_r = \frac{1}{2}(\dot{U}_1 - Z_c \dot{I}_1)$, 其中 \dot{U}_1 、 \dot{I}_1 分别代表 $x=0$ 处的电压和电流。

均匀传输线上的波 分作入射波和反射波。式(3)中, $\dot{U}_1 e^{-\gamma x}$ 、 $\frac{\dot{U}_1}{Z_c} e^{-\gamma x}$ 分别是正弦稳态下电压入射波相量和电流入射波相量; $\dot{U}_r e^{\gamma x}$ 、 $\frac{\dot{U}_r}{Z_c} e^{\gamma x}$ 分别是电压反射波相量和电流反射波相量。

传播常数 复数 $\gamma = \beta + j\alpha$ 称传播常数。它的实部 β 称衰减常数, 其值为单位长度传输线上波的衰减量, 虚部 α 称为相位常数, 其值为单位长度传输线上波的相位移。指定某一时刻 t_1 , 此时电压入射波的瞬时值沿 x 的分布见图 3 中实线, 它是一条振幅沿 x 增

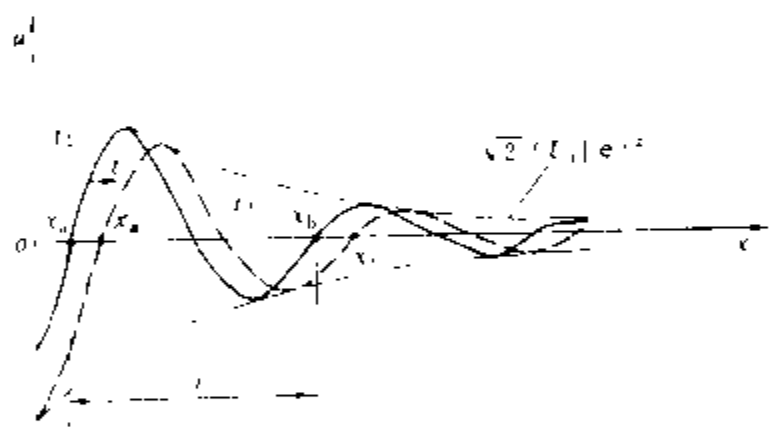


图 3 电压入射波瞬时值分布

加方向衰减的正弦曲线。在这条实线上, x_1 点处和 x_2 点处入射波的相位之差是 2π , 由 x_1 到 x_2 的距离记作 λ , 称作入射波的波长: $\lambda = 2\pi/\alpha$ 。相位常数 α 越大, 波长 λ 越短。电压入射波包络线的方程是 $\sqrt{2} |\dot{U}_1| \times e^{-\beta x}$, 图中用点画线表示。衰减常数 β 越大, 电压振幅沿线衰减越快。在另一时刻 t_2 ($t_2 = t_1 + \Delta t > t_1$), 电压入射波瞬时值的分布用图 3 中虚线表示。图中, t_1 时刻的 x_1 点 (在实线上) 和 t_2 时刻的 x_1' 点 (在虚线上), 电压入射波有相同的相位, 它们是等相位点。等相位点之间的距离 $\Delta x = x_1' - x_1 = x_2' - x_2$, 定义相位速度 v 为

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\omega}{\alpha} = f\lambda$$

它就是等相位点前进的通度。对于架空线, 相位速度 v

约等于真空中的光速, $v \approx 3 \times 10^8$ m/s, 若频率 $f = 50$ Hz, 则波长 λ 约为 6000 km。在某一时刻 t_1 , 电压反射波瞬时值的分布见图 4, 反射波以相位速度 v 沿反方向进行。

特性阻抗 式(3)中的 Z_c 称特性阻抗, 它是线上电压行波与其同向行进的电流行波相量值之比。如果传输线的损耗很小, 即: $R_0 \ll \omega L_0$, $G_0 \ll \omega C_0$, 而忽略其作用, 特性阻抗即等于

$$Z_c = \sqrt{L_0/C_0}$$

几乎为一实常数值。应用于高频下的传输线常

以其 Z_c 表示馈线的特性, 例如配合电视天线用的有 300 Ω , 75 Ω 的馈线等。

无畸变线 通信用的传输线常需要尽量避免传输信号波形发生畸变。信号畸变有两种: 一种是由于衰减随频率变化而产生的幅度畸变; 另一种是由于相位速度 v 随频率而变所引起的延迟随频率变化而造成的延迟畸变。如果传输线的参数满足 $R_0/G_0 = L_0/C_0$, 便能实现无畸变传输。这时传播常数

$$\gamma = \beta + j\alpha = \sqrt{\frac{R_0}{G_0}} (G_0 + j\omega C_0)$$

在衰减常数 β 与频率无关的情况下, 就不会有振幅畸变; 在相位常数 α 与频率成正比时, 相位速度与频率无关, 就不会有延迟畸变。

反射系数 终端接负载阻抗 Z_L 的传输线, 终端处反射波电压(电流)与入射波电压(电流)之比是

$$\rho = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c}$$

称为反射系数。如果 $Z_L = Z_c$, 反射系数为零, 线上就没有电压、电流的反射波。在这一条件下, 就说传输线是匹配的。

自然功率 传输线在终端所接负载阻抗等于特性阻抗时传输的功率叫作它的自然功率。在忽略线路损耗的情形下, 自然功率

$$P_n = |U_N|^2 / Z_c$$

式中 U_N 是传输线的电压。电力传输线的经济负荷一般在 1 至 1.5 倍自然功率的范围内, 过大的负荷将使电能损耗增加。

暂态响应 传输线在暂态下的响应由方程(1)在暂态下的解表示。其中的典型现象是传输线上的任何电磁干扰都以电磁波的形式沿线传播, 因而有着电流、电压传播的延迟。例如在架空线上某处发生雷击, 它的影响将以光速向线路两端传播, 侵入两端的电力设备,

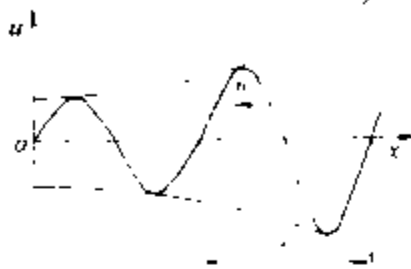


图 4 电压反射波瞬时值分布

如不加以防止,将对设备造成损害。

(江锡光)

chuanlian

串联 (series connection) 将二个或二个以上元件排成一串,每个元件的首端和前一个元件的尾端连成一个节点,而且这个节点不再同其他节点连接的方式。图示三个元件串联。元件3的首端和元件2的尾端连成节点q,元件2的首端和元件1的尾端联成节点p。元件1的首端a和元件3的尾端b则分别和电路的其他节点连接。

串联电路的特点 主要有①所有串联元件中的电流是同一个电流。②元件串联后的总电压是所有元件

的端电压之和。图示电路中, u 是总电压, u_1 、 u_2 、 u_3 分别是元件1、2、3的电压, $u = u_1 + u_2 + u_3$ 。③若干

个电阻器串联时,元件串联后的总电阻是所有电阻器的电阻之和。设图中元件都是电阻器,电阻器1、2、3的电阻分别是 R_1 、 R_2 、 R_3 。总电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3$,从而 $u = Ri$ 。式中 u 是总电压; i 是电流。

实例 五台相同的静电电容器串联后接到电压是 $10/\sqrt{3}$ kV的电网,每台电容器的电压是 $10/\sqrt{3}$ kV的1/5即1.15 kV。

(肖达川)

chuanlian wenya dianlu

串联稳压电路 (series voltage stabilizing circuit) 调整管和负载电阻串联的使输出电压值近于恒定的电路。

串联稳压电路的方框图如图1所示。若将整流滤波电路输出的未稳直流电源 U_i 看作为整个放大器的电源,而把基准电压看作为输入电压 U_R ,则此电路就是电压串联负反馈电路(见反馈放大器)。在调整管工作于线性放大区时,其输出电压为 $U_L = U_R / F_u$,式中 F_u 为反馈系数。当基准电压 U_R 值取定后,改变 F_u 值,就能改变 U_L 值。据此可做成手动控制或程序控制的可调电源。

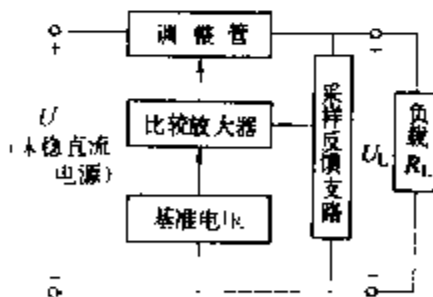


图1 串联稳压电路方框图

电路的稳压作用如下:采样反馈支路将输出电压 U_L 取出一部分反馈到比较放大器(见比较器)与基准电压进行比较。当输出电压 U_L 由于输入电压 U_i 变化

或负载电流 I_L 变化而发生变化时,比较放大器将 U_L 的变化信号加以放大并送给调整管,使调整管的管压降发生相反的变化以抵消输出电压的改变,从而维持输出电压的恒定。

图1框图中的比较放大器可以采用晶体管或场效应管的差动放大器构成,也可以采用集成运算放大器构成。用晶体管差动放大器构成的串联稳压电路如图2所示,用运算放大器构成的串联稳压电路如图3所示。此两种稳压电路的反馈系数 F_u 都是 $(R_2 + R_3) / (R_1 + R_2 + R_3)$ 。

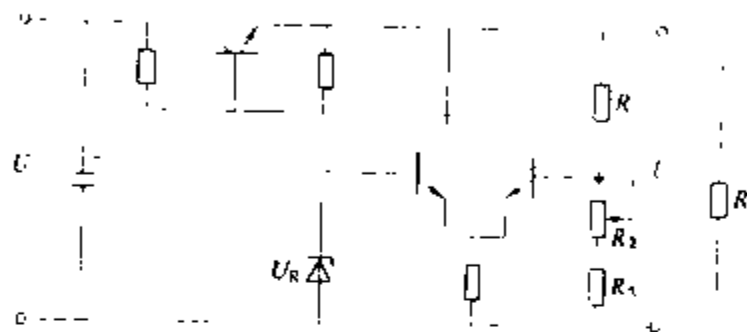


图2 晶体管串联稳压电路

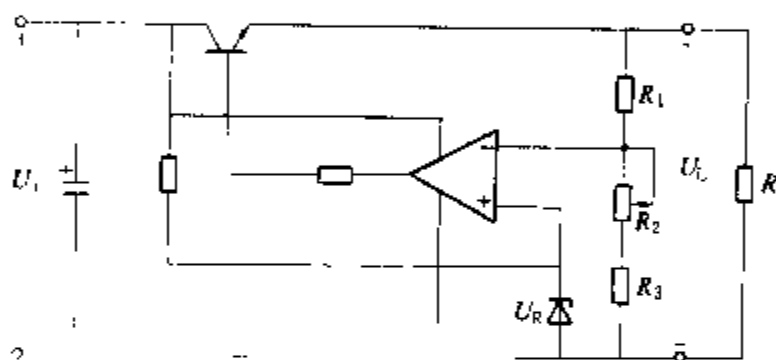


图3 运算放大器串联稳压电路

在串联稳压电路中,由于要保证调整管始终工作于放大区而不进入饱和区,所以正常工作时,调整管上管压降较大,从而导致功率转换效率下降(其效率为30%~35%),尤其是在要求输出低电压大电流,或要求输出电压可调范围较宽时,其效率就更低。在此情况下,串联稳压电路常采用带辅助电源或分段调节式稳压电路来提高效率,并使输出电压最小值可以调到接近于零伏。

在串联稳压电路中,由于负载和调整管是串联的,当突然发生过载或短路时,将导致调整管损坏。调整管的损坏是在非常短的时间内发生的,一般的热熔保险丝由于动作较慢,起不到保护作用,所以实用的串联稳压电路通常都加有限流型或截流型的过流保护电路。

串联稳压电路的特点是:稳压精度高、输出电阻低、电路简单、带负载能力强。

(叶治政)

chuanlian xiezhen zhuangzhi

串联谐振装置 (series resonant equipment)

一种利用串联谐振原理产生交流高电压的试验

装置。由于应用高电压试验变压器为大电容量的试品如长电缆、六氟化硫管道、电容器以及容量很大的发电机进行耐压试验时,常发生满足不了试验容量的问题,且电力系统内进行上述试品的现场耐压试验时,采用庞大的试验变压器作为电源,运输也很不方便,为此有时改用串联谐振装置取代高压试验变压器。

串联谐振装置的原理接线如图1所示,其中T为供电变压器;L是调谐用可变电感;C为试品、分压器等的总电容;R是代表回路中实际存在的引线及调谐电感固有的电阻,也代

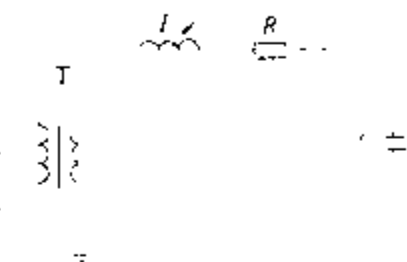


图1 串联谐振装置的原理图

表了高压导线的电晕损耗及试品介质损耗的等值电阻,有时也包括特地接入的调整电阻。工作时调整电感L的大小,使之与电容C在工频之下发生串联谐振。谐振的条件是 $\omega L = 1/\omega C$, $\omega = 2\pi f$, f 为50 Hz或邻近值。若 U_1 为试验时的高压侧电源电压,则谐振状态下电流可达到 $I_M = U_1/R$ 。定义品质因数 $Q = \omega L/R$ (一般 $Q = 20 \sim 80$),于是 $U_C = U_L = I_M(\omega L) = QU_1$,所以电源变压器所需的电压值及容量均为试验所需值的 $1/Q$ 。图2所示为调感式串联谐振装置的一种实际连接方式。

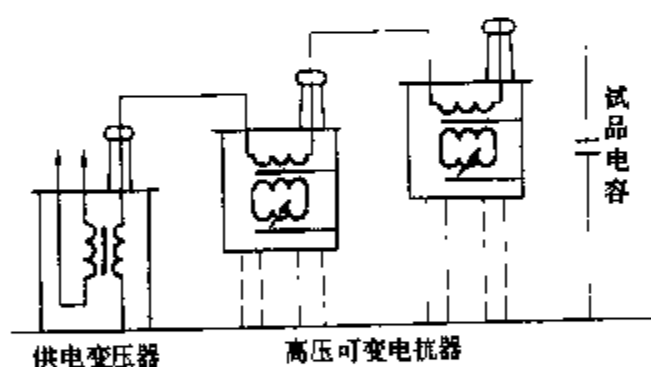


图2 调感式串联谐振装置的串级连接方式

在图1及图2中,以调感的方式产生串联谐振来说明装置的基本原理,实际上也可用调容式或电源调频等的调谐方式。调频式的若频率在45 Hz至300 Hz的范围内调节,则特别适用于现场气体绝缘变电站设备的耐压试验。这种方式有利于Q值的提高,并使装置重量减轻。

串联谐振装置的优点是:整个装置为可拆型,比高压试验变压器轻便;输出波形好;试品耐压击穿后,由于失谐,电弧即刻熄灭,不易重复击穿,可使试品的烧伤点不大。其缺点是,不能用它进行湿闪和污闪试验。

目前,中国已研制出调频、调感和调容等方式的高压串联谐振装置,技术性能良好,其中包括1500 kV, 4 A的高参数试验装置。

(陈昌渔)

cibiao wei

磁标位 (magnetic scalar potential) 无

电流分布的单连通域中,描述恒定磁场特征的辅助计算标量,它的负梯度等于磁场强度。三维空间中的单连通区域是指,区域中的任何闭合曲线可在区域中借连续变形缩小至零。磁标位 φ_m 和磁场强度 H 的关系如下

$$H = -\nabla \varphi_m$$

区域中a、b两点的磁标位 φ_{ma} 和 φ_{mb} 之差即磁位差,等于磁场强度从a点到b点的线积分

$$\varphi_{ma} - \varphi_{mb} = \int_a^b H \cdot dl$$

积分路径规定在单连通域内,磁位差之值和积分路径无关。常指定区域中某一点的磁标位之值为零,该点称为参考点。

磁标位满足的方程 对于真空或充满着同一种各向同性、线性媒质无电流的单连通区域,磁标位满足拉普拉斯方程,即

$$\nabla^2 \varphi_m = 0$$

由已知区域边界上的磁场条件解此方程,可求出区域中各处的磁标位。静电场中的电位也满足拉普拉斯方程。因此,若静电场和恒定磁场问题有几何相似的区域,以及相类似的边界条件,则用类比的方法,可直接由静电场问题的解得出磁场问题的解。

等磁标位面 为了形象地描绘磁场,在无电流的单连通区域内,可画出与磁力线(见磁场强度)正交的等磁标位面族。如果规定相邻两个等磁标位面之间的磁位差为某一常数,则等磁标位面密度大的地方,磁场强度大,反之,磁场强度小。

设区域中既有铁磁媒质又有非铁磁媒质。相对于非铁磁媒质中的磁场强度来说,铁磁媒质中的磁场强度值通常很小,常予忽略,从而铁磁媒质的边界面可以认为是等磁标位面。形象地说,位于边界面上,在非铁磁媒质一侧的磁力线,处处垂直于这表面。利用这性质,可以简化非铁磁媒质中的磁场计算。

(倪光正)

cibuchang cailliao

磁补偿材料 (magnetic compensation materials) 补偿因温度变化而引起的磁路磁通变化的材料。含有永久磁铁的磁路,气隙磁通常随温度面变化,精密仪表需进行温度补偿,即磁补偿。常用的磁补偿合金有Ni-Fe, Ni-Cu和Ni-Fe-Cr等。仪表的使用温度一般为室温左右。磁补偿材料的居里温度就在室温附近。因此,当温度升高时,磁导率下降。为了得到良好的补偿,应选用磁导率与温度或线性关系的区域。不

同的磁补偿合金有不同的线性区, 分别适用于不同的温度范围。例如在 $20\sim 80^{\circ}\text{C}$ 范围内选用 31: 69 的 Ni-Fe 合金, 在 $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内选用 30: 70 的 Ni-Fe 合金。在 $0\sim -40^{\circ}\text{C}$ 范围内选用掺 Cr 的 Ni-Fe 合金。当 Ni、Fe、Cr 的比例为 31: 61: 8 时, 在上述温度范围内使用, 该磁补偿合金的磁导率基本上随温度升高而线性地下降, 可以用来设计出良好的磁补偿分路。

(黄嘉豫)

cichang

磁场 (magnetic field) 存在于载流导体、永久磁体、运动电荷或时变电场等周围空间的, 以磁感应强度表征的一种特殊形式的物质。磁场的物质性, 可由它的如下许多特性显示出来: 磁场具有能量; 磁场对运动电荷、载流导体有作用力; 导线在磁场中运动或静止导线处于时变磁场中, 导线中将引起感应电动势, 发电机、变压器就是根据这一原理制或的; 在磁场的作用下, 磁致伸缩材料会发生变形, 呈现磁致伸缩现象; 将载流导体置于磁场中, 导体的横向两侧将出现电位差, 即产生霍尔效应; 磁场可使载流导体或半导体的电阻发生变化, 即产生磁致电阻效应, 等等。描述磁场的基本物理量是磁感应强度 B 和重要的辅助量磁场强度 H 。

恒定磁场和时变磁场 在空间某区域内, 若各处的磁感应强度的量值和方向都不随时间变化, 该区域中的磁场称恒定磁场, 否则称时变磁场。时变磁场总是和时变电场相互关联, 以电磁波的形式存在。研究某一区域中的时变磁场时, 若电磁波的波长远大于区域的线度尺寸, 则可忽略位移电流对磁场的作用, 这种时变磁场称似稳磁场。大多数电力设备中的时变磁场可以认为是似稳磁场。

均匀磁场和非均匀磁场 任何时刻, 若空间某区域内各处的磁感应强度的量值和方向都相同, 称区域中的磁场为均匀磁场, 否则称非均匀磁场。

媒质的磁化 位于磁场中的媒质将产生磁化效应。为宏观描述媒质的磁化状态及其对外磁场的影响, 引入了磁场强度这一概念。磁感应强度和磁场强度的关系, 常用磁化曲线表示。电机工程中, 在许多场合下, 只考虑铁磁材料的磁化; 非铁磁材料的磁化很弱, 一般不予考虑, 即认为这种材料的磁导率和真空磁导率相同。

磁场的基本规律 磁场具有如下的基本规律。

磁通量的连续性 穿过任何闭合面的磁通量等于零 (见磁通量)。

磁场强度的环路积分规律 磁场强度沿闭合路径的线积分, 等于穿过以该闭合路径为周界的表面上的

全电流 (见磁场强度)。

磁场的能量密度 在各向同性的线性媒质中, 单位体积内的磁场能量或磁场能量密度, 等于 $(B \cdot H)/2$ 。

媒质分界面处磁场量满足的条件 在媒质 1 和媒质 2 的分界面上有: ①媒质 1、2 的磁感应强度的法向分量 B_{1n} 、 B_{2n} 连续, 即 $B_{1n} = B_{2n}$ 。②媒质 1、2 的磁场强度的切向分量 H_{1t} 、 H_{2t} 之差, 等于分界面上的面电流密度 J_s (J_s 的方向垂直于 H_{1t} 和 H_{2t}), 即 $H_{1t} - H_{2t} = J_s$; 不存在面电流时, H_{1t} 、 H_{2t} 连续。

(倪光正)

cichang qiangdu

磁场强度 (magnetic intensity) 表征磁场的辅助物理量。用符号 H 表示, 其定义是

$$H = B/\mu_0 - M$$

式中 B 是磁感应强度; M 是磁化强度; μ_0 是真空磁导率。在各向同性线性媒质中, 磁化强度 M 和磁场强度 H 成正比, $M = \chi_m H$, χ_m 是磁化率。以上定义式可改写成

$$B = (1 + \chi_m)\mu_0 H = \mu_r \mu_0 H = \mu H$$

式中 $\mu = \mu_r \mu_0$ 称媒质的磁导率; $\mu_r = 1 + \chi_m$ 称媒质的相对磁导率, 为一纯数。真空中, 无磁化现象, $M = 0$, 此时 $B = \mu_0 H$ 。对各向同性、非线性磁媒质, 磁导率 μ 不是常数而是磁场强度 (或磁感应强度) 的函数。在国际单位制 (SI) 中, 磁场强度的单位是安培每米 (A/m), 也有用奥斯特 (Oe) 作单位的。

安培环路定 (律) 理 真空中, 磁感应强度 B 沿任一闭合曲线 l 的线积分, 正比于穿过此曲线所围曲面 S 的总电流 I

$$\oint_l B \cdot dl = \mu_0 I$$

当穿过曲面 S 的电流 I 的方向与线积分所循行的方向或右手螺旋关系时, 取 I 值为正; 反之取 I 值为负。如图 1 所示, $I = I_1 - I_2 + I_3$ 。

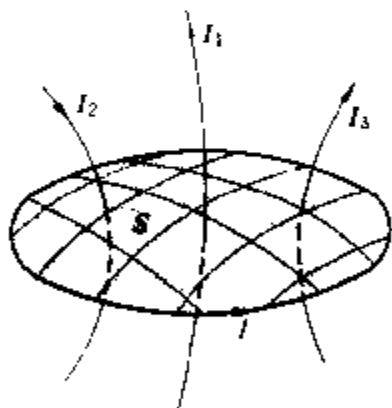


图 1 穿过 S 面的电流

有磁媒质时的安培环路定理 磁媒质的存在影响磁场。根据解释物质磁化的分子电流理论, 在磁场作用下, 物体内部分子电流的定向排列, 使物体磁化。这时, 有分子电流 I_m 穿越上述 S 面, 而且 I_m 之值等于磁化强度 M 沿闭合曲线 l 的线积分, 即

$$\oint_l M \cdot dl = I_m$$

因此,存在磁媒质时,磁场可看作是由导线中的电流和磁媒质内的分子电流,共同在真空中建立起来的,因此

$$\oint_l \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + \mu_0 I_m = \mu_0 I + \mu_0 \oint_l \mathbf{M} \cdot d\mathbf{l}$$

于是有

$$\oint_l \left(\frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M} \right) \cdot d\mathbf{l} = I$$

引入磁场强度 \mathbf{H} , 可将上式写成如下极简洁的形式

$$\oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I$$

其相应的微分表达式为

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}$$

式中 \mathbf{J} 是电流密度。以上两式分别是安培环路定理的积分形式和微分形式, 后一形式表明磁场是有旋场。

全电流定理 时变场中, 全电流(传导电流、运流电流和位移电流的总称)与它所建立磁场之间的规律, 由全电流定理描述。J.C. 麦克斯韦(J.C. Maxwell)将时变电场所形成的位移电流引入安培环路定理。令 I 代表穿过曲面 S 的传导电流和运流电流(见电流), I_0 代表穿过 S 的位移电流, 则全电流定理可表示为

$$\oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + I_0$$

其相应的微分表达式为

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

式中 \mathbf{D} 是电位移矢量; $\partial \mathbf{D} / \partial t$ 是位移电流密度。

磁力线 磁场中, 可以按以下规定作出定性描述磁场强度的磁力线: 磁力线上任一点的切线方向, 是该点磁场强度的方向。作图时, 还常遵循磁力线分布的密度正比于磁场强度量值的原则。图 2 示出在一个由铁磁材料制成的含气隙磁路中, 磁力线和磁感应线(见磁感应强度)的图形, 后者是闭合的曲线。在气隙中, 二者的分布相同; 在铁芯中, 磁场强度 \mathbf{H} 很小, 用一根磁力线表示。

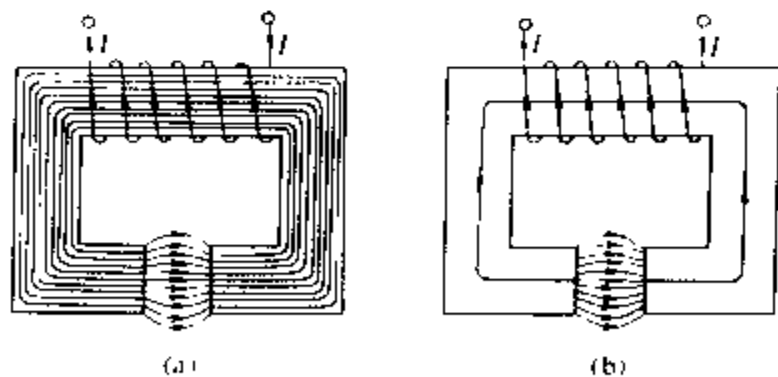


图 2 磁力线和磁感应线的图形

(a) \mathbf{H} 线; (b) \mathbf{B} 线

(倪光正)

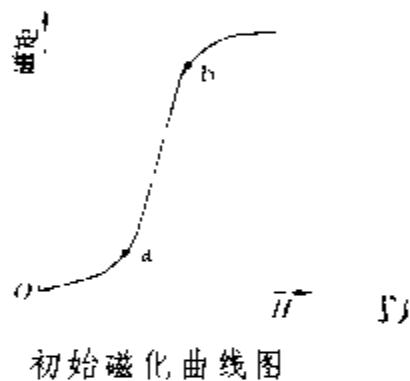
cichou yu choubi

磁畴与畴壁 (magnetic domain and domain wall)

在居里温度以下, 磁性材料内具有大小和方向基本上一致的自发磁化强度的微小区域称为磁畴。每一磁畴有一合成磁矩, 相当于一块微小的永久磁铁。在邻近磁畴之间、厚度为晶胞的许多倍的边界区域称为畴壁。在这个区域内磁矩的取向从一个磁畴中的方向陆续转变为相邻磁畴中的方向。磁畴的大小并不固定, 随外磁场的强弱而变化。磁畴的方向与外磁场情况及热运动有关。

铁磁体在外磁场作用下磁化通常称为技术磁化, 以区别于磁畴内部的自发磁化。技术磁化过程大致可分为以下二个阶段。

(1) 畴壁移动: 无外磁场时由于各磁畴取向混乱, 对外不呈现磁性。随着外磁场的增强, 磁矩和外磁场方向一致的磁畴逐渐扩大, 相反方向的磁畴逐渐缩小, 表现为畴壁的移动, 其结果是产生了与外磁场同方向的合成磁矩。在初始磁化曲线(见图)上从原点 O 经附点 a , 直至膝点 b , 均属于畴壁移动所导致的磁化过程。但在 Oa 段, 由于外磁场较弱, 如撤消外磁场, 磁畴又会恢复原状, 称为可逆畴壁移动, 而在 ab 段则出现不可逆畴壁移动, 而且移动幅度较大, 此时若撤消外磁场, 就不再沿 ba 曲线下降, 即出现磁滞现象(见磁滞回线)。畴壁移动是铁磁体磁化的第一种机制。



初始磁化曲线图

(2) 磁畴转动: 磁化达到 b 点以上时, 外磁场已足够强, 出现磁畴转动, 即磁矩方向和外磁场不一致的磁畴转向外磁场方向, 继续增强外磁场, 将导致所有磁畴磁矩方向完全转向外磁场方向, 这时达到技术磁化饱和。磁畴转动是铁磁体磁化的第二种机制。

(黄嘉豫)

cida cunchuqi

磁带存储器 (magnetic tape storage)

以磁带作为信息存储媒体的装置, 又称磁带机。它是应用数字磁记录技术, 在纵向运行的磁带上存取信息的辅助存储器。在计算机系统中可用来作为存放程序、数据、中间结果和最后需要保存的数据资料的外存储器。

结构和特点 磁带存储器由磁带、磁带驱动器和磁带控制器组成: ①磁带。存放信息的带状媒体, 在塑料带基或金属带基的带面上涂有磁层, 利用磁层被磁化后的剩磁来保存信息。磁带的结构有盘卷式和盒式两类。按磁带宽度可分为 0.5 英寸、0.25 英寸和 0.15

英寸三种。②磁带驱动器。包括磁头、走带机构和电子线路。磁头是电磁转换的核心部件。走带机构又由拖带、导带和缓冲装置组成,拖带装置是走带的动力;导带装置作为走带时的导向;缓冲装置用来克服起停时的机械惯性,使磁带以恒速恒张力平稳地通过磁头。电子线路包括伺服电路和读写电路。伺服电路根据命令操作控制伺服电机拖动磁带以恒速恒张力运动。写电路是用来把需要写入的信息按规定的记录方式转换成磁信号。读电路把磁头读出信号恢复成写入前的信息。③磁带控制器。控制计算机与磁带驱动器之间交换信息、传递命令和状态。它包括格式器和适配器两部分,通常这两部分分别安放在磁带驱动器和计算机主机箱内。

磁带机主要技术指标有:记录方式、记录密度、走带速度、每盘磁带的存储容量以及数据传输率等。

磁带存储的主要特点是:①信息能长期保存,不易丢失,可靠性高;②存储容量大,媒体占用空间小,便于存放;③由于磁带采用平涂工艺,成本低;④磁带存储技术有严格的国际标准,互换性好。

流式磁带机 每读写一个数据块,不需要执行块起停动作,由微处理机控制产生相应的块间隔,直至数据交换结束为止。它与传统的起停式磁带机相比具有结构简单、可有多种速度和多种工作方式、自诊断功能强、可靠性高、成本低、体积小、重量轻和便于操作维护等优点。

磁带存储技术于20世纪50年代初问世以来,发展很快。70年代以前主要发展起停式磁带机,80年代初开始应用流式磁带机,并正在逐步取代原有的起停式磁带机,尤其是盒式磁带机已经得到广泛应用,具有广阔的发展前景,它是硬盘存储器的理想后备设备。

(陈鹤皋)

cídao

磁导 (magnetic conductance) 见磁阻。

cídaolǜ

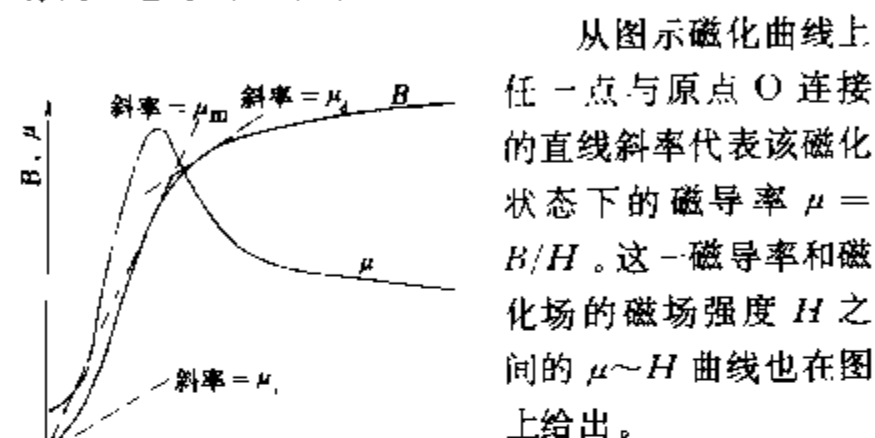
磁导率 (permeability) 描述物质磁性的一种物理量,是物质中某点的磁感应强度 B 与该点磁场强度 H 之比: $\mu = B/H$ 。磁导率的单位为 $T \cdot m/A$, 或 H/m 。在实际中也常使用相对磁导率 μ_r , 其定义为物质的磁导率 μ 与真空中磁导率 μ_0 之比, 即 $\mu_r = \mu/\mu_0$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A$ 。

为测定磁导率,通常把待测材料作成实心圆环状样品,上面均匀地绕满线圈,形成由待测材料充满的环状线圈。当线圈中通以电流 I 时,可由线圈匝数 N 及

电流 I 算出样品中磁化场的磁场强度 H ,与此同时,通过绕在环上的二次线圈和与其相联的冲击检流计测出样品中的磁感应强度 B 。改变电流 I ,测出相应的 H 和 B ,可绘出 $B \sim H$ 磁化曲线。

顺磁性、抗磁性以及在居里温度以上的铁磁性磁体的磁化曲线皆为通过原点的直线,因此对应的磁导率 μ 为与磁场强度 H 无关的常量。

铁磁体在居里温度以下的起始磁化曲线为一经过原点的曲线(见图)。由图可见铁磁体的磁感应强度与磁场强度间的关系较为复杂,而且磁导率 μ 不仅与 H 有关,还与铁磁体的磁化历史有关(见磁滞回线)。



铁磁体在居里温度以下的起始磁化曲线

从图示磁化曲线上任一点与原点 O 连接的直线斜率代表该磁化状态下的磁导率 $\mu = B/H$ 。这一磁导率和磁化场的磁场强度 H 之间的 $\mu \sim H$ 曲线也在图上给出。

在实际应用中还可采用下述几种磁导率的定义:

(1) 起始磁导率 μ_0 , 表示 H 趋于零时的磁导率的极限值;

(2) 微分磁导率 μ_d , 表示 $B \sim H$ 磁化曲线上各点的斜率, $\mu_d = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{dB}{dH}$;

(3) 最大磁导率 μ_m , 表示 $\mu \sim H$ 曲线上的极大值。根据磁导率的大小可以把物质分为抗磁性、顺磁性和铁磁性三类:

(1) 顺磁性物质的 μ 略大于 1, 例如锰、铬、铂、钒等。

(2) 抗磁性物质的 μ 略小于 1, 例如汞、铜、硫、金、银、锌、铅等。

(3) 铁磁性物质的 μ 远大于 1, 而且 μ 不是常量, 例如铁、钴、镍、钆以及它们的某些合金与化合物、铁氧体等。

(吴百诗)

cígǎnyǐng qiángdù

磁感应强度 (magnetic induction) 表征磁场强弱程度和磁场方向的物理量, 又称磁通密度。设磁场中某点有正电荷 q , 它的速度是 v , 磁场对它的作用力是 F ; 改变速度 v 的方向但维持其量值不变, 直到力的量值 F 为最大; 定义该点的磁感应强度 B 的量值为 $B = F/qv$, B 的方向为 $F \times v$ 的方向。在国际单位制

(SI) 中, 磁感应强度的单位是特 [斯拉] (T); 也有用高斯 (Gs) 作单位的。测量磁感应强度的常见方法, 有基于感应电动势效应的探测线圈法和基于霍尔效应的霍尔片法等。

磁感应线 为了形象地描绘磁场, 可画出磁感应 (强度) 线的分布图。在这种人为的有方向的磁感应线上, 规定任一点的切线方向是该点的磁感应强度的方向。对于定性分析, 所画磁感应线的根数可随意选定。如果还要求磁感应线能反映磁场强弱, 可令垂直于磁场方向的单位截面积内穿过的磁感应的根数, 正比于该处的 B 值, 从而磁

感应线密度较大的地方, 磁感应强度较大, 即磁场较强。磁感应线通常是环绕电流的闭合曲线。图示为载流螺线管的磁感应线分布图。



载流螺线管的磁感应线

磁场对运动电荷的作用力 具有速度 v 的电荷 q 位于磁感应强度为 B 的位置时, 电荷受到的力称为洛伦兹力, 按下式计算

$$F = q(v \times B)$$

此式包含了 B 的定义。

磁场对载流导线的作用力 长度是 l 的导线中通有电流 I , 当它置于磁感应强度是 B 的均匀磁场中时, 导线受力 F 是

$$F = I(l \times B)$$

当导线的方向与 B 的方向垂直时, 力 F 的量值最大。此时, B 、 l 和 F 三者互相垂直, 可用左手定则描述为: 伸开左手, 让磁感应线垂直进入手心, 使合拢的四个手指指向电流的方向, 则与四指相垂直的大拇指所指方向, 就是载流导线所受磁场力的方向。

(倪光正)

cihualu

磁化率 (magnetic susceptibility) 描述物质磁化性质的一种物理量, 是物质内磁化强度 M 与磁场强度 H 之比: $\chi = M/H$ 。磁化强度 M 是单位体积内分子磁矩的矢量和, 因此磁化率是对于单位体积来定义的, 故称为体积磁化率, 简称为磁化率。有时也对于单位质量或一个摩尔物质内分子磁矩的矢量和来定义磁化率, 分别称为质量磁化率 χ_m 和摩尔磁化率 χ_{mol} , 它们和磁化率的关系分别为 $\chi_m = \chi/\rho$ 和 $\chi_{mol} = m\chi/\rho$, 其中 ρ 和 m 分别为物质的密度和分子量。在国际单位制中, 磁化率 χ 和磁导率 μ 的关系为 $\mu = \mu_0 (1 + \chi)$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 。磁化率是无量纲、无单位的

物理量。

根据磁化率的正负和大小, 可把物质分为三类: 顺磁性的、抗磁性的和铁磁性的。顺磁性物质的磁化率为正, 数量级一般为 $10^{-3} \sim 10^{-6}$; 抗磁性物质的磁化率为负, 数量级一般为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$, 这两类物质的磁性很弱, 统称为弱磁性物质。在通常温度和磁场情况下, 可认为弱磁性物质的磁化率与磁场强度 H 无关。铁磁性物质的磁化率不是常数, 它与磁场强度 H 间存在着复杂的函数关系。对铁磁性物质常引用微分磁化率, 定

义为 $\chi_d = \frac{dM}{dH}$, 它与磁场强

度的关系见图, 图中 χ_d 为

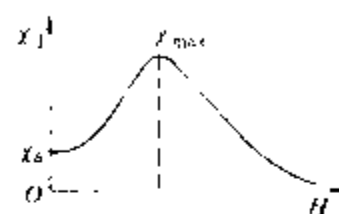
$H=0$ 时铁磁性物质的磁化

率, 称起始磁化率, χ_{max} 称

最大磁化率。当磁场强度 H 很大时, 铁磁性物质的磁化率将变得很小, 呈现磁饱和现象。

铁磁性物质在温度高于某一临界温度 T_c 时, 铁磁性消失, 铁磁性物质转变为顺磁性物质。

(吴百诗)



微分磁化率与磁场强度的关系

cijilu cailiao

磁记录材料 (magnetic - record materials)

利用其剩磁特性来记录信息的铁磁材料。被记录的信息是电信号或由非电信号转变而来的电信号。典型的例子是录音、录像等。磁记录的关键材料是磁记录介质和记录磁头材料。前者属于永磁材料, 用于制造磁带、磁盘等。后者属于软磁材料, 用于制造录音、录像、放音、放像磁头及抹音、抹像磁头等。

磁记录介质 要求记录信号的保真度高, 保存性能好, 记录信息的密度高, 容易实现信息记录; 抹去信息能做到干净彻底, 不留残余信号; 能获得信噪比大的复现信号等。根据上述要求应选用剩磁大, 矫顽力强, 矩形比大的硬磁材料。现有的磁记录介质可分为微粒型和连续薄膜型二类。

(1) 微粒型磁记录材料: 用磁性氧化物微粒涂敷在载体 (如塑料带) 上, 可制成记录磁带。最常用的磁性氧化物微粒是 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 其剩磁为 $(600 \sim 1000) \times 10^{-4} \text{T}$, 矫顽力为 $(250 \sim 400) \times \frac{10^3}{4\pi} \text{A/m}$, 矩形比约 0.75。磁带上的磁性层厚度 $5 \sim 12 \mu\text{m}$, 磁盘上磁性层厚度仅 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。在视频场合需用 Co 作为添加剂, 使 B_r 高达 $1300 \times 10^{-4} \text{T}$, H_c 达 $600 \times \frac{10^3}{4\pi} \text{A/m}$ 。或选用 CrO_2 微粒, 矩形比高达 0.86。

(2) 连续薄膜型磁记录材料: 不用载体, 直接将磁

性材料制成薄膜。例如, Co-Ni-P 合金膜或 Fe-Co 合金膜等, B_s 可高达 $10000 \times 10^{-4} \text{ T}$, 矩形比达 0.8, 薄膜厚度仅 $0.1 \mu\text{m}$, 用来制作磁鼓。

记录磁头材料 应选用 B_r 高、 H_c 低的高导磁材料。为了适应小信号记录, 要求初始磁导率高。选用电阻率高的材料以降低涡流损耗。要求机械硬度大, 以减少磨损。坡莫合金是较理想的磁头材料。实际的低频磁头多数选用 Mo-Ni-Fe 合金, 饱和磁通密度为 $7000 \times 10^{-4} \text{ T}$, 矫顽力为 $0.015 \times \frac{10^3}{4\pi} \text{ A/m}$, 初始相对磁导率达 50000。在要求硬度高的场合可选用 Al-Si-Fe 合金, 饱和磁通密度达 $11000 \times 10^{-4} \text{ T}$, 初始相对磁导率为 30000, 但威氏硬度为 Mo-Ni-Fe 合金的 4 倍。高频磁头的材料必须选用 Ni-Zn 铁氧体, 饱和磁通密度为 $3500 \times 10^{-4} \text{ T}$, 初始相对磁导率为 1800, 硬度很高。

(黄嘉豫)

cijiyi cailiao

磁记忆材料 (magnetic-memory materials)

具有两种或两种以上容易识别的稳定磁状态的磁性材料。用于电子计算机一类智能设备中, 用作二进制数字信号的记忆。要求具有二个稳定状态, 以表示 0 和 1。利用磁性材料的剩磁特性可以实现信息记忆。

基本特性和要求 对磁记忆材料的要求是:

(1) 磁滞回线尽可能接近于矩形, 并具有足够大的剩磁。

(2) 矫顽力大小适当。矫顽力过大不易存贮信息, 过小则容易失去信息。

(3) 从一个稳定状态翻转到另一个稳定状态的速度要足够快, 以适应高速存取。

(4) 具有足够宽的使用温度范围和较高的温度稳定性。

分类 常见磁记忆材料有铁氧体、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 CrO_2 、坡莫合金和石榴石等。

(1) 铁氧体。磁芯存贮器用铁氧体制作。Mn-Mg 系铁氧体的开关时间为 10^{-8} s 数量级, 使用温度范围为 $0 \sim 60^\circ\text{C}$ 。锂 (Li) 系铁氧体除开关时间可比 10^{-8} s 略短外, 其使用温度范围更宽, 可在 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 内使用。

(2) $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 及 CrO_2 等。用作记忆元件, 如磁鼓、磁盘、磁卡片、磁带存贮器等。(见磁记录材料)

(3) 坡莫合金薄膜。用于制作薄膜存贮器, 主要成分为 80% 镍和 20% 铁, 镀覆在磷青铜或铁铜线表面, 厚度仅 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 。

(4) 石榴石。以无磁性的石榴石 ($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) 单晶作基片, 用液相外延法在它上面生长几微米厚的强磁性石榴石单晶, 磁畴直径为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 。用于制作磁泡

存贮器。

(黄嘉豫)

cijiu

磁矩 (magnetic moment) 描述载流线圈磁性质及微观粒子物理性质的物理量。载有电流 I 、面积为 s 的平面线圈的磁矩 m 定义为

$$m = Isn$$

n 为沿平面线圈法线方向的单位矢量, 其指向与电流 i 环绕方向间成右螺旋关系, 磁矩为 m 的载流小线圈在磁感应强度为 B 的磁场中受到的磁力 F 、磁力矩 L 分别为

$$F = (m \cdot \text{grad}) B \quad L = m \times B$$

磁矩为 m 的载流小线圈所产生的磁场的磁感应强度 B 在远处可表示为

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{3(m \cdot r)}{r^5} r - \frac{m}{r^3} \right]$$

式中 r 为磁矩到场点的矢径; μ_0 为真空中的磁导率。

通常讲磁矩都是指上面定义的磁偶极矩, 此外尚有磁多极矩, 其极次以 2^l ($l=1, 2, \dots$) 表示。 $l=1$ 时, 即为上述磁偶极矩; $l=2$ 时, 即为磁四极矩等。磁多极矩概念用于电磁辐射理论中。

近代物理理论和实验研究表明, 电子有磁矩, 原子和原子核一般也有磁矩。原子中电子绕核的轨道运动相当于一个环形电流, 相应地有轨道磁矩 μ_B ; 电子本身还具有自旋运动, 相应地具有自旋磁矩 μ_s , 原子磁矩则等于原子核磁矩和原子中各电子磁矩的总和。但原子核磁矩很小, 要比电子磁矩小三个数量级, 因此可以认为原子磁矩等于原子中各电子轨道磁矩和自旋磁矩的矢量和。无论是电子轨道磁矩、自旋磁矩、还是原子磁矩都是量子化的。不仅如此, 它们沿空间任一方向 Z (例如外磁场方向) 的投影也都是量子化的。

近代物理理论和实验还证明, 质子、中子和其他微观粒子也都有磁矩。熟悉微观粒子磁矩在研究粒子、原子核、原子和分子物理学, 以及光谱、磁共振等近代实验技术方面都有着重要意义。

通常说的条形磁铁的磁矩等于磁铁两磁极间的距离和一个磁极强度的乘积。它也是一个矢量, 方向规定为沿着两磁极的连线, 自南极指向北极。

(吴百诗)

cilian

磁链 (magnetic linkage) 见电感。

cilu

磁路 (magnetic circuit) 将磁通量约束在

其中的区域。许多电气装置的部件由铁磁材料构成(有的包含小段空气隙),其周围环绕着通电流的线圈或其中装着永久磁铁,使铁磁部件中建立磁通量。由于铁磁材料的磁导率比非铁磁材料的磁导率高很多,磁通量几乎全部约束在铁磁材料所限定的空间和空气隙中,此区域形成磁路。变压器的铁芯,继电器的衔铁和空气隙、电机的铁芯部分和空气隙等,都是磁路的实例(见图1)。

直流磁路计算 磁路计算的任务,是确定各段磁路中的磁通量、磁位差和磁通势之间的定量关系。若线圈中的电流是恒定电流,或者是频率较低的交流从而可以忽略铁磁材料中的涡流作用时,磁路计算称直流磁路计算。

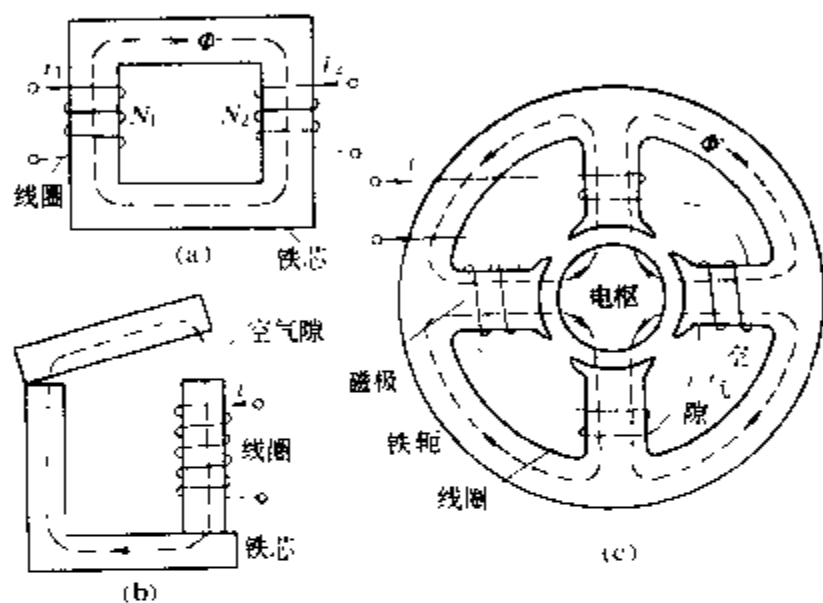


图1 磁路

(a) 变压器磁路; (b) 继电器磁路; (c) 电机磁路

直流磁路计算依据的规律 直流磁路计算主要依据的规律是磁通连续性原理和安培环路定理。

磁通连续性原理 对于磁路中任一封闭面,穿过该封闭面的、各分支磁路中的磁通的代数和等于零(见磁通量)。这原理也称作磁路的基尔霍夫第一定律。

安培环路定理 磁路中任一闭合路径上各段的磁位差的代数和,等于作用于该闭合路径上的磁通势(见磁场强度)。这定理也称作磁路的基尔霍夫第二定律。

材料的磁特性 铁磁材料的磁特性,由材料的磁化曲线表示(见图2);非铁磁材料的磁导率可认为等于真空磁导率 μ_0 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$)。

磁路计算中常见的假定 忽略由铁芯侧面进入非铁磁材料中的磁通量。认为磁通量在铁芯截面上均匀分布。忽略铁芯截面积急剧变化处的磁场变化,例如不考虑图1(a)中铁芯四个角上铁芯截面积的不均匀性。

直流磁路计算举例 以图1(a)中磁路为例。设磁通量 Φ 全部集中在铁芯内,而且在截面上均匀分布,有

$$B = \Phi / A \quad (1)$$

式中 A 是铁芯截面积; B 是铁芯中的磁感应强度或磁通密度。由安培环路定理得

$$HI = N_1 i_1 + N_2 i_2 \quad (2)$$

式中 H 是铁芯中的磁场强度; I 是磁路的平均长度; N_1 、 N_2 分别是两个线圈的匝数; i_1 、 i_2 分别是线圈中电流, $(N_1 i_1 + N_2 i_2)$ 即作用于闭合磁路径上的磁通势。

(1) 若已知磁通量,由以上式(1)求出磁感应强度 B ,由材料的磁化曲线查出对应的磁场强度 H ,由式(2)计算磁通势。

(2) 若已知磁通势,由式(2)求出磁场强度 H ,由磁化曲线查出对应的磁感应强度 B ,由式(1)计算磁通量 Φ 。

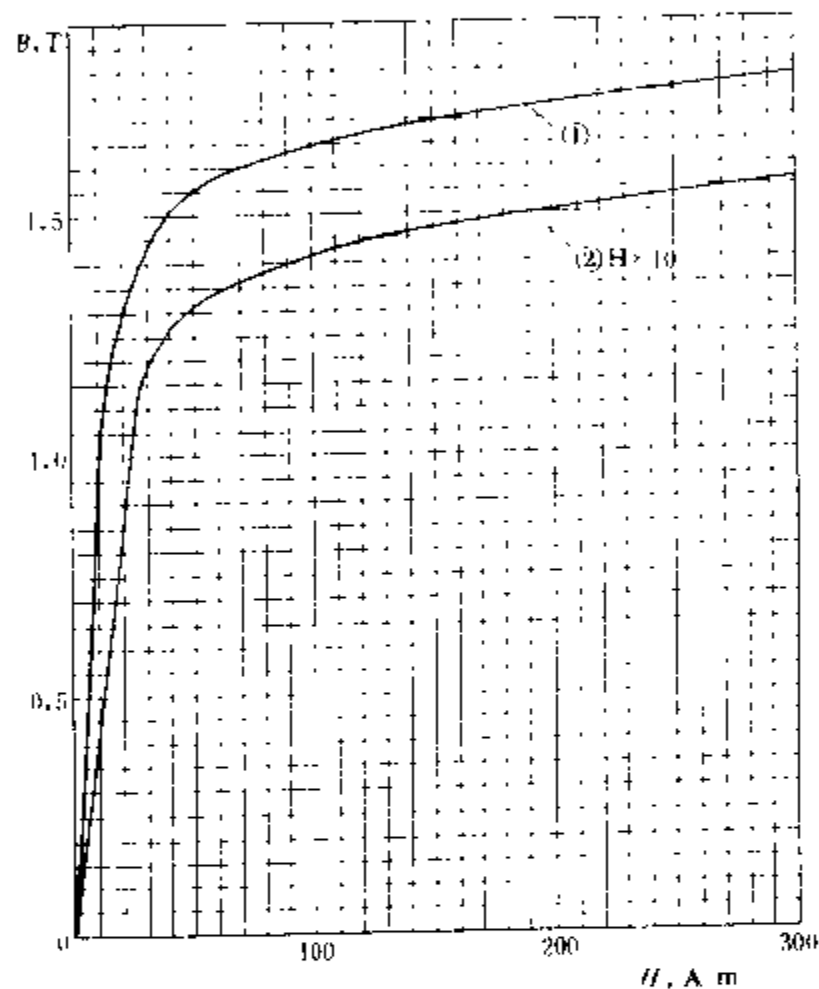


图2 两种铁磁材料的磁化曲线

①—冷轧硅钢片(DQ151-35); ②—热轧硅钢片(DR530-50)

若磁路形状复杂,不论是第一种情况或第二种情况,都需要反复试算以得到满意的解答,或者用计算机求解。

(姜绍文)

amin dianzu cailiao

磁敏电阻材料 (magneto sensitive resistance materials)

对磁场敏感,具有磁阻效应的电阻材料。这种材料能通过磁阻效应将磁信号转换成电信号。磁阻效应包括材料的电阻率随磁场而变化 and 元件电阻值随磁场而变化两种现象。前者称磁电阻率效应或物理磁阻效应;后者称为磁电阻效应或几何磁阻效应。

磁场作用在导体上的各种物理效应(霍尔效应、磁阻效应)早在1879~1883年间在金属中就发现了,但因效应不显著,长期来未得到广泛应用。半导体出现后,在20世纪50年代后半期开发了高迁移率的新型化合物半导体材料,如锑化铟(InSb)等,也促进了霍尔器件和磁阻器件的研究、开发和应用。

磁敏电阻材料主要是电子迁移率大的半导体材料,还有铁镍钴合金。常用的半导体有InSb(或InSb-NiSb共晶材料)、砷化镓(InAs)和砷化镓(GaAs)等材料,一般用N型。高纯度InSb和InAs的电子迁移率分别为 $5.6\sim 6.5\text{ m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 和 $2.0\sim 2.5\text{ m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。InSb的禁带宽度小,受温度影响大。GaAs的禁带宽度大,电子迁移率也相当大 $[0.8\text{ m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})]$,受温度影响小,且灵敏度也高。镍钴合金和镍铁合金的电阻温度系数小,性能稳定,灵敏度高,且具有方向性,可制作强磁性磁阻器件,用于磁阻的检测等方面。用半导体材料制作的磁敏电阻器、无触点电位器、模拟运算器和磁传感器等应用于测量、计算机、无线电和自动控制等方面。半导体InSb-NiSb磁敏电阻器用于磁场、电流、位移和功率测量及模拟运算器等方面,其阻值为 $10\Omega\sim 1\text{ k}\Omega$,相对灵敏度 $6\sim 18(B=1\text{ T})$,温度系数 $-2.9\%\sim 0.09\%/^{\circ}\text{C}(B=1\text{ T})$,极限工作频率 $1\sim 10\text{ MHz}$ 。在测量小于 0.01 T 的弱磁场时,必须附加以偏置磁场才能进行。Ni-Co薄膜磁敏电阻器主要用于探测磁场方向、磁带位置检测、测量和控制转速或速度以及无触点开关等方面。阻值有 $1\text{ k}\Omega$ 、 $10\text{ k}\Omega$ 、 $250\text{ k}\Omega$,相对灵敏度2%以上($3\times 10^{-3}\text{ T}$ 下),温度系数 $3000\pm 500\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$,感应磁场 $3\times 10^{-3}\text{ T}$ 以上,工作温度 $-55\sim +150^{\circ}\text{C}$ 。在检测磁场反转或可逆磁场以下的磁信号时,也应采用偏置磁场。

磁敏电阻材料的发展与半导体材料的开发密切相关。发展趋势是:开发高准确度、高灵敏度、低噪声、高稳定性和可靠性以及多功能的磁敏器件与材料;研制非金属和金属化合物半导体、固溶体半导体、共晶体和共晶薄膜磁敏材料。

(吕乃康 孟中岩)

cipán cunchuqí

磁盘存储器 (magnetic disk storage) 利用磁记录技术在旋转的圆盘媒体上进行数据存储的辅助存储装置。它以存储容量大、速度快、可靠性高、使用方便等优点而得到了迅速的发展,成为计算机系统中重要的外部存储设备。

原理 磁盘存储器由磁记录媒体、磁头、磁头定位机构、主轴旋转机构和控制电路等部分组成。其基本工作原理是,在电路的控制下,通过磁头的电磁转换,把

二进制信息“0”或“1”记录到旋转的磁记录媒体表面上,或把已经记录到媒体上的信息“0”或“1”再读出来。通常用存储容量、面记录密度(道密度 \times 位密度)、寻道时间、旋转等待时间、数据传输率、误码率、平均无故障间隔时间等技术指标来表征其性能的高低。

分类 根据记录媒体基片的不同和磁头与磁盘是否接触,分成硬磁盘和软磁盘两大类。

硬磁盘 它的媒体是在铝合金等金属材料或玻璃基片上敷以磁性记录层而成的。工作时,磁头和媒体保持一定的间隙,这种间隙也称为磁头的浮动高度。磁头浮动高度越小,记录密度就越高。20世纪90年代初期,高档硬磁盘的磁头浮动高度已经减小到 $0.2\sim 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。

根据磁头的工作方式,分为移动头和固定头硬磁盘;根据磁盘是否可换,分为可换型和固定型硬磁盘;根据磁层的不同,分为颗粒型媒体和连续薄膜媒体硬磁盘;根据基片直径的不同,分为14、10.5、9、8、5.25、3.5、2.5、1.8等英寸硬磁盘。

硬磁盘的特点是:①基片采用铝合金等金属材料或玻璃,比较坚硬;②为了不损伤盘面,一般采用浮动磁头读/写;③为了使磁头浮动起来,主轴的转速较高;一般在 $2400\sim 3600\text{ r/min}$;④存储容量大,一般在几十、几百乃至几千兆字节,90年代初期的大型硬磁盘驱动器已达到几万兆字节,由多台磁头与磁盘部件组成的磁盘子系统已接近十万兆字节。

随着磁记录技术的不断进步,硬磁盘的容量和面记录密度将会得到更大的发展。

软磁盘 它的媒体是在聚酯薄膜的基片上敷以磁性记录层而成的。根据记录面,分为单面和双面软磁盘;根据盘片直径可分为8、5.25、3.5、2.5等英寸软磁盘;根据位密度,分为单密度和双密度软磁盘;根据道密度,分为普速道密度(48道/英寸)、倍道密度(96道/英寸)和多倍道密度(大于135道/英寸)软磁盘。

软磁盘的特点是:①基片采用聚酯塑料,比较柔软;②磁头采用接触式读/写;③主轴转速较低,一般为 360 r/min ;④存储容量比硬磁盘小,一般只有几百千字节至几兆字节,20世纪90年代初期的高档产品已达到几十兆字节。

软磁盘由于成本低、媒体可换以及近年来其存储容量的不断扩大,被广泛应用于个人计算机和文字处理机中。软磁盘发展趋向是短小轻薄,3.5英寸以下的微型软盘将成为90年代的主流产品。

(黄旭晨)

cípingbǐ cáilì

磁屏蔽材料 (magnetic shielding materials)

屏蔽磁场用的材料。磁屏蔽分三种情况：静磁屏蔽、低频电磁屏蔽及高频电磁屏蔽。实用上根据不同的情况选用不同的屏蔽材料。

静磁屏蔽 为了使杂散磁场集中到屏蔽罩壳体上，屏蔽罩应具有尽可能高的磁导率。所有磁导率高的软磁材料，如电磁纯铁、球墨铸铁、坡莫合金、硅钢、软磁铁氧体等，原则上都可选用。设计上应按磁屏要求、价格、壳体强度，加工性能等，综合考虑后选定。

低频电磁屏蔽 除屏蔽静磁外，还需兼屏蔽变化的电磁场，如工频电磁场等。除要求磁导率高外，还要求电导率高。较理想的材料是坡莫合金，考虑到价格和加工因素，大的屏蔽罩以电磁纯铁为宜。坡莫合金中含镍量高于40%时，磁导率和电导率都很好。此外，含铝15%~16%左右的铁铝合金也是常用的磁屏材料。

高频电磁屏蔽 以屏蔽电磁波为主要目的，屏蔽所依据的原理是楞次定律，利用屏蔽罩内的感生电磁场来抵消外来电磁干扰，应选用良导体制作屏蔽罩，如铝和铜等。

(黄嘉豫)

cishiwel

磁矢位 (magnetic vector potential) 描述磁场特征的辅助计算矢量，它的旋度等于磁感应强度，又称磁矢势。磁场是无散场，即磁感应强度 B 的散度等于零： $\nabla \cdot B = 0$ (见磁通量)。由矢量分析公式 $\nabla \cdot \nabla \times A = 0$ ，其中 A 为任一矢量函数，这样， B 总可表示为某个矢量场 A 的旋度，即

$$B = \nabla \times A$$

由上式定义磁矢位 A 。对于恒定磁场，磁矢位 A 只是空间坐标的矢量函数。对于时变磁场， A 是空间坐标和时间的矢量函数。令 S 是以闭合路径 l 为周界的曲面。

由于 $\int_S B \cdot dS = \int_S (\nabla \times A) \cdot dS = \oint_l A \cdot dl$ ，所以磁矢位沿闭合路径 l 的线积分，等于穿过曲面 S 的磁通量。定义式只规定了 A 的旋度， A 的散度有不同的选择方案。

恒定磁场中的磁矢位 恒定磁场中，常规定 $\nabla \cdot A = 0$ ，称这种规定为库仑规范。若所研究的区域内充满了同一种各向同性的线性磁媒质，在库仑规范条件下，磁矢位 A 满足矢量函数的泊松方程

$$\nabla^2 A = -\mu J$$

式中 μ 是磁媒质的磁导率； J 是区域内的电流密度。若区域内无电流，即 $J=0$ ，则磁矢位 A 满足矢量函数的拉普拉斯方程： $\nabla^2 A = 0$ 。结合具体磁场问题解上述拉普拉斯方程或泊松方程，求出磁矢位 A ，再按定义公式

可求得磁感应强度 B 。

若真空中有闭合导线 l ，其中有恒定电流 I 。空间中任一点 P 的磁矢位 A_P 可直接由下式计算

$$A_P = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_l \frac{Idl}{r}$$

式中 dl 是导线的长度元； r 是从电流元 Idl 所在处到 P 点的距离； μ_0 是真空磁导率。

时变电磁场中的矢量位 在时变电磁场中，仍可按 $B = \nabla \times A$ 公式定义 A ，但通常称 A 为矢量位。此时，一般还要引入一个标量位，用它和矢量位一起解算时变电磁场问题。

(倪光正)

cili

磁体 (magnets) 具有或可使其具有外磁场的物体或器件。依照物质在磁场作用下所呈现的性质，可将物质分为顺磁性、抗磁性、铁磁性（含亚铁磁性）及反铁磁性等几大类，统称为磁体。

物质在磁场作用下磁化后，内部产生了附加磁场。若附加磁场的方向和外磁场相同，则呈现顺磁性。反之，则呈现抗磁性。实际上这二类物质的附加磁场和导致磁化的磁场相比，都非常微弱，属于弱磁性物质。

在电工和电子技术中，广泛应用硅钢、磁钢等铁磁性物质，用于制造机电设备或仪器仪表中的磁路、铁芯及永久磁铁等。铁氧体应用于高频场合及磁记录、磁记忆等领域，推动了电子计算机及智能机器人的发展。

铁磁体磁化所产生的附加磁场远大于使它磁化的磁场，并且方向一致，从而导致铁磁体的强磁性。P.-E. 外斯 (Pierre-Ernest Weiss) 提出了分子场和磁畴假设，定性地解释了铁磁性。近代量子力学用自旋磁矩和交换力的概念说明了形成分子场和磁畴的原因，建立了近代铁磁理论。

铁磁共振现象在电工中有重要应用。顺磁共振和核磁共振已成为近代微现分析的重要手段。

(黄嘉豫)

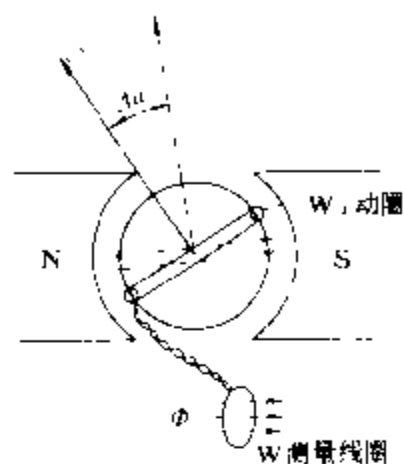
citongji

磁通计 (fluxmeter) 测量磁通量的仪器，又称韦伯计、特斯拉计。

常用的磁电系磁通计，结构上类似于磁电系检流计 (见图)，但未设置反抗力矩，用无力矩的柔软导流丝将电流引入可动线圈，因此线圈可以停留在任何位置。磁通计中一般装有调整结构，可将指针或光标调到刻度盘上便于读取数据的位置。

使用时，将处于恒定磁场中的测量线圈 W 与磁通计的动圈 W_a 连接。如果使 W 中的磁通发生变化，例

如将 W 移出磁场 ($\Delta\Phi = \Phi$), 则在 W 中感应出电动势, 从而有电流流过动圈, 使其偏转 $\Delta\alpha$ 角。根据 $\Delta\alpha$ 与磁通变化量 $\Delta\Phi$ 成正比, 且 $\Delta\Phi$ 在数值上等于 Φ 的关系, 可确定磁通量 Φ 。



磁电系磁通计

原理上, 磁通计对测量线圈的感应电动势起积分作用, 其指针偏转反映积分结果。如此, 若采用电子积分器与指示电表组合, 即可形成电子式磁通计; 若将 W 中感应电动势 e 经电压频率转换器转化

为与 e 成正比的一系列脉冲, 再用计数器累积计数, 即数字积分, 则所计数值正比于 W 中磁通的变化, 故称为数字磁通计。

以上几种磁通计都用于测量恒定磁场的磁通量。利用霍尔效应既可测量恒定磁场, 又可测量交变磁场。当将一块半导体矩形薄片 (霍尔片) 垂直放在磁场 B 中, 并沿薄片纵轴方向通以恒定电流, 就会在薄片中心横轴两端点之间产生与磁场成正比的霍尔电压, 这就是霍尔效应, 利用这种效应制作的测磁通量的仪表称做霍尔特斯拉计。

(王德芳)

citongliang

磁通量 (magnetic flux) 磁感应强度的曲面积分, 又称磁通。它可以用穿过曲面的磁感应线数 (见磁感应强度) 形象地表示。对曲面 S 上的任一而元 dS , 把位于该面元的磁感应强度 B 分解为与而元垂直和相切的两个分量 B_n 和 B_t , 定义穿过此面元 dS 的磁通量 $d\Phi$ 为

$$d\Phi = B_n dS = B \cos\theta dS = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

式中, 角度 θ 是而元的法线方向和磁感应强度方向之间的夹角。穿过曲面 S 的总磁通量 Φ 是

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

如果面 S 是一平面, 面上的磁场是均匀的, 而且 \mathbf{B} 的方向垂直于该平面, 则上式简化为 $\Phi = BS$ 或 $B = \Phi/S$, 这表明磁感应强度 B 等于与磁场垂直的单位面积上的磁通量, 故磁感应强度又称磁通 (量) 密度。在国际单位制 (SI) 中, 磁通量的单位是韦伯 (Wb), 也有用麦克斯韦 (Mx) 的。1 Wb = 10^8 Mx。

磁感应线通常是闭合的。因此, 对于磁场中的任何闭合曲面 S , 穿入的磁感应线数恒等于穿出的磁感应

线数, 即穿出闭合曲面 S 的净通量为零, 其数学表示式为

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

上式表示磁通量的连续性, 它是磁场固有的一个特性。相应的微分表达式为磁感应强度 \mathbf{B} 的散度为零, 即

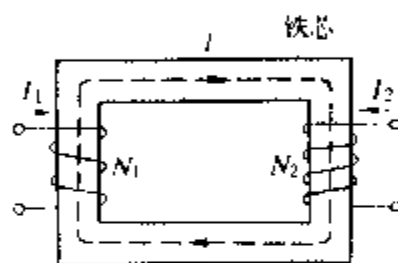
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

因此, 磁通量的连续性也可表示成磁感应强度具有无散度的特性。

(倪光正)

citongshi

磁通势 (magnetomotive force) 磁场强度沿闭合路径的线积分, 又称磁动势。在许多电工装置中, 磁通量由线圈中的电流产生。根据安培环路定理, 磁场强度沿闭合路径的线积分, 等于套着该路径的线圈中电流 I 和线圈匝数 N 的乘积 NI 。因此在电机工程



铁芯磁路

l —磁路的闭合路径

程中, 沿着闭合路径的磁通势用乘积 NI 定义。闭合路径上的磁通势的方向, 和线圈中电流的方向, 应符合右手螺旋规则。若线圈不止一个, 磁通势等于每个线圈的 NI 的代数和。在国际单位制 (SI) 中, 磁通势的单位是安培 (A)。工程上又用安培匝作为磁通势的单位。

图示铁芯上套着二个线圈。 N_1 、 N_2 分别是两线圈的匝数, I_1 、 I_2 分别是线圈中电流。沿着图中虚线所示闭合路径 l 的磁通势, 等于 $N_1 I_1 + N_2 I_2$ 。

(黄绍文)

ciweicha

磁位差 (magnetic difference of potential)

一段磁路内磁场强度的线积分。由磁路中的 a 点经路径 l 到 b 点的磁位差 U_m , 由下式定义

$$U_m = \int_a^b \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$

式中 \mathbf{H} 是路径 l 上各点的磁场强度, $d\mathbf{l}$ 是对应点处的长度元。

设 a 、 b 段磁路由同一种材料制成, 其截面是均匀的, 磁场是均匀的面且磁力线与截面垂直, 路径 l 的方向和磁力线方向一致, 则 a 、 b 段的磁位差等于磁场强度的量值 H 和路径长度 l 的乘积, 即

$$U_m = Hl$$

磁位差的单位在国际单位制 (SI) 中是安培 (A)。

(黄绍文)

cixing cailiao

磁性材料 (magnetic materials) 能由磁场来磁化或改变其磁化强度的物质。根据磁导率或磁化率的大小可以把物质分为弱磁性材料和强磁性材料两大类。弱磁性材料包括顺磁材料(见顺磁性)和抗磁材料(见抗磁性)。强磁性材料包括铁磁材料(见铁磁性)、亚铁磁材料及反铁磁材料(见反铁磁性)。电工技术中常用的铁磁材料和亚铁磁材料又可分为软磁材料和硬磁材料(见永磁材料)两大类。

见磁体。

(黄嘉豫)

cizhi shensuo

磁致伸缩 (magnetostriction) 由于磁化而引起的磁性物质的弹性变形。当铁磁性物质的温度降至居里点以下,自发磁化形成磁畴时(见磁畴与畴壁),由于晶体点阵平衡条件改变而发生形变,是磁致伸缩的根本原因。在技术磁化过程中,磁畴结构改变并趋向同一方向时,便能观察到磁致伸缩的宏观效应。

纵向磁致伸缩 沿磁场方向的伸长和缩短。设在磁感应强度为 B_0 的恒定磁场磁化下相对伸长为 $\epsilon_0 = \Delta l/l$, 则有 $\epsilon_0 = \alpha B_0^2$, 式中常数 α 取决于材料性质。设磁化外磁场为恒定磁场 B_0 和交变磁场 B 的叠加,而且 $B \ll B_0$, 可以导出相对伸长为 $\epsilon = \beta B$, 式中常数 β 取决于材料性质及 B_0 , 称为磁致伸缩应变恒量。若用机械方法使材料两端固定,不允许其伸长,则材料内产生的应力为 $\sigma = r\beta$, r 为磁致伸缩应力恒量,且 $r = C_{11}\beta$, 式中 C_{11} 表示纵向弹性模量。

横向磁致伸缩 与磁场垂直方向的伸长和缩短。产生纵向磁致伸缩的同时,常伴随着较小的横向伸缩。

磁致伸缩扭转 利用磁致伸缩效应可以产生扭转振动。其方法是使圆柱形材料产生纵向磁致伸缩的同时,再加上围绕圆柱轴线的环形交变磁场。

(黄嘉豫)

cizhi shensuo cailiao

磁致伸缩材料 (magnetostriction materials)

因磁化而引起弹性变形的磁性材料。磁致伸缩的原因是在磁场中材料磁畴结构的改变,因此磁致伸缩材料必须是铁磁物质。常用的磁致伸缩材料是以铁、钴、镍为主的合金及软磁铁氧体。

磁致伸缩材料的常用参数有以下二个:

(1) 饱和磁致伸缩系数 λ_s : 即多晶材料饱和磁化时,磁致伸缩所产生的相对伸长。

(2) 机电耦合系数 K : 用以衡量某材料通过磁致伸缩把电能转换成机械振动的比例。它和磁导率 μ , 纵

向弹性模量 C_{11} 及磁致伸缩应力恒量 r 的关系是 $K^2 = \mu r^2 / C_{11}$ 。

常用磁致伸缩材料的成分及特性见表。

常用磁致伸缩材料的成分及特性

材 料	成 分	$\lambda_s \times 10^5$	K
镍	Ni $\geq 99.5\%$	-35	0.20~0.31
铁铝合金	Al 13%	40	0.22~0.33
镍钴合金	Co 4.5%	-33	≈ 0.51
软磁铁氧体	Fe、Ni、Co、Cu 等 氧化物	-28	0.19~0.32
铁钴钒合金	Co49%、V2%、Fe	70	0.20~0.37

此外,镍铁合金也是常用材料,性能随镍铁比例而变。

(黄嘉豫)

cizhi hui xian

磁滞回线 (magnetic hysteresis loop)

表示磁场强度周期性变化时物质磁滞现象的闭合磁化曲线。它表明了强磁性物质反复磁化过程中磁化强度 M 或磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间的关系。由于 $B = \mu_0 (H + M)$ (或 $B = H + 4\pi M$), 若已知一材料的 $M-H$ 曲线,便可求出其 $B-H$ 曲线,反之亦然。式中 μ_0 为真空磁导率。将强磁性材料(包括铁磁性和亚铁磁性材料)样品从剩余磁化强度 $M=0$ 开始,逐渐增大磁化场的磁场强度 H , 磁化强度 M 将随之沿图1中

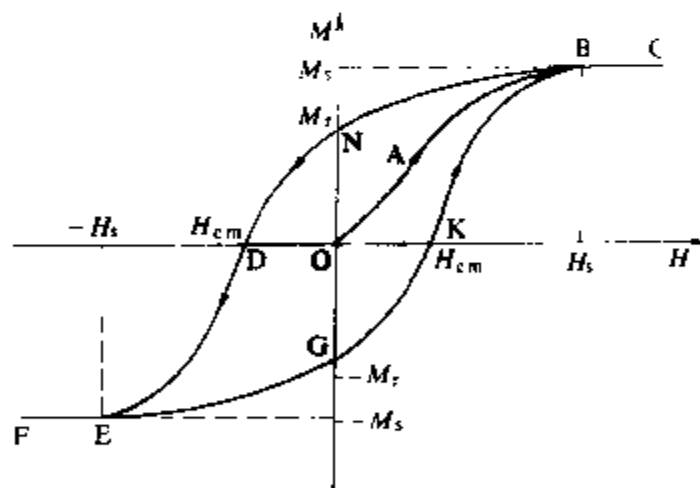


图1 磁滞回线

OAB 曲线增加,直至到达磁饱和状态B。再增大 H , 样品的磁化状态将基本保持不变,因此直线段 BC 几乎与 H 轴平行。当磁化强度达饱和值 M_s 时,对应的磁场强度 H 用 H_s 表示。OAB 曲线称为起始磁化曲线。此后若减小磁化场,磁化曲线从 B 点开始并不沿原来的起始磁化曲线返回,这表明磁化强度 M 的变化滞后于 H 的变化,这种现象称为磁滞。当 H 减小为零时,

M 并不为零,而等于剩余磁化强度 M_r 。要使 M 减到零,必须加一反向磁化场,而当反向磁化场加强到 $-H_m$ 时, M 才为零, H_m 称为矫顽力。如果反向磁化场的大小继续增大到 $-H_s$ 时,样品将沿反方向磁化到达饱和状态 E ,相应的 M 为 $-M_s$ 。 E 点和 B 点相对于原点对称。此后若使反向磁化场减小到零,然后又沿正方向增加,样品磁化状态将沿曲线 $EGKB$ 回到正向饱和磁化状态 B 。 $EGKB$ 曲线与 $BNDE$ 曲线也相对于原点 O 对称。由此看出,当磁化场由 H_s 变到 $-H_s$,再从 $-H_s$ 变到 H_s 反复变化时,样品的磁化状态变化经历着由 $BNDEGKB$ 闭合回线描述的循环过程。曲线 $BNDEGKB$ 称为磁滞回线。 BC 及 EF 两段相应于可逆磁化过程, M 为 H 的单值函数。由于磁滞现象,磁滞回线上任一给定的 H ,对应有两个 M 值。样品处于哪个磁状态,决定于样品的磁化历史。

若磁化场的最大 $|H|$ 值在小于 $|H_s|$ 的范围内反复磁化,将得到小一些的磁滞回线(见图2)。

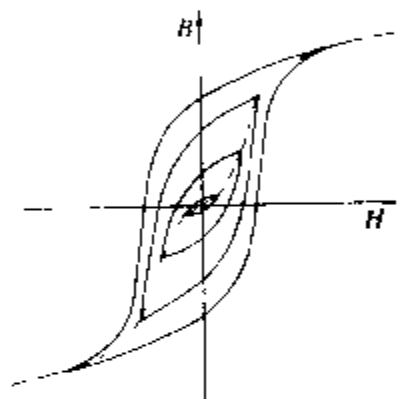


图2 强磁体的正常磁化曲线

所有磁滞回线中上述 $BNDEGKB$ 为最大的一个,常称为极限磁滞回线。各磁滞回线两端顶点的连线称为正常磁化曲线,如图2中虚线所示,它和起始磁化曲线基本重合。

用 $B-H$ 表示的强磁性材料的磁滞回线其走向与形状与 $M-H$ 磁滞回线大致相同。在电工技术中更多使用 $B-H$ 表示的磁滞回线。

可以证明, $B-H$ 磁滞回线所包围的面积正比于在一次循环磁化中的能量损耗。

(吴百诗)

cizhi sunhao

磁滞损耗 (magnetic hysteresis loss) 铁磁体等在反复磁化过程中因磁滞现象而消耗的能量。它是电气设备中铁损的组成部分。

磁滞损耗表现为磁化过程中有一部分电磁能量不可逆转地转换为热能。在准静态反复磁化过程中,单位体积的铁磁体被交变磁场磁化一周所产生的磁滞损耗正比于磁滞回线所包围的面积,即 $\oint HdB$ 。设交变磁场的频率为 f ,则单位时间、单位体积的磁滞损耗为 $f \cdot \oint HdB$ 。因此选择磁滞回线面积小的材料和降低工作频率都可以减少磁滞损耗。在工程设计上,常用经验公式为

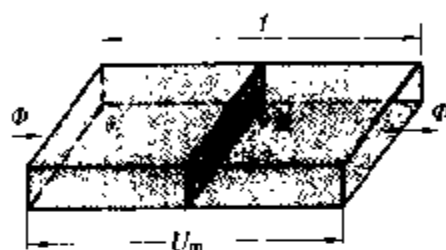
$$W_h \approx K_1 B_m^{1.6} f$$

式中 f 为工作频率; B_m 为磁滞回线上磁感应强度的最大值; K_1 为取决于材料性质及其他有关因素的常数。

(黄嘉豫)

cizhi

磁阻 (reluctance) 一段磁路的磁位差和磁通量的比值。磁阻由该磁路的几何形状、尺寸、材料的磁特性等因素决定。在国际单位制(SI)中,磁阻的单位是每亨利(H^{-1})。



一段长方形截面磁路

图示一段磁路。它有均匀长方形截面,磁感应线和截面垂直。令截面上的磁通量是 Φ ,磁路两端的磁位差是 U_m ,则这段磁路的磁阻 R_m 定义

义为

$$R_m = U_m / \Phi$$

上式也称作磁路中的欧姆定律。若图示磁路由同一种材料制成,磁阻 R_m 也可用下式计算

$$R_m = l / \mu A$$

其中 A 、 l 分别是该段磁路的截面积和长度(见图); μ 是磁路材料的磁导率。如果材料是非铁磁物质,一般认为 μ 等于真空磁导率 μ_0 ,是常值,由上式可方便地计算磁阻。如果材料是铁磁物质, μ 不是常数,一般不计算磁阻;磁阻概念只在作定性分析时使用。

串联磁路的磁阻 两段磁路串联时,总磁阻 R_m 是每段磁路的磁阻(R_{m1} 和 R_{m2})之和,即

$$R_m = R_{m1} + R_{m2}$$

例如继电器的衔铁断开时,继电器铁芯组成的磁路中串联有由空气隙构成的一小段磁路,使整个磁路的磁阻增加。

磁导 磁阻的倒数称作磁导。在SI制中,它的单位是亨利(H)。用 Λ 代表磁导,磁导的定义式便是

$$\Lambda = \Phi / U_m$$

也可用下式计算图示磁路的磁导

$$\Lambda = \mu A / l$$

式中各符号的意义同前。

(龚绍文)

cunchu xitong

存储系统 (storage system) 计算机保存程序和数据的组成部分。存储系统由多种存储设备与存储控制管理部件组成,其基本功能是按指定的位置

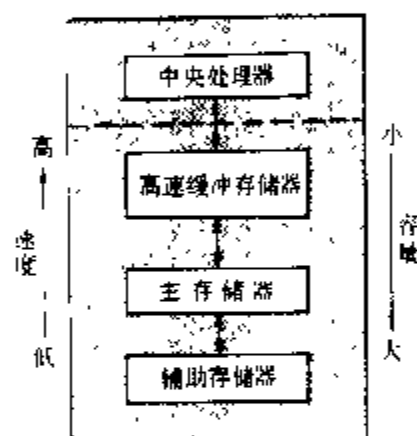
存入或取出信息。现代计算机为存储程序的数字计算机,保存二进制代码程序和数据是其特征。广义的信息存储有模拟与数字两种形式。模拟存储媒体的信道强度直接对应输入信号强度。数字存储基于元件的两个表示二进制信息的物理状态。计算机的存储器存储数字信息。

存储器的性能参数 主要为:①存储器容量,即可容纳二进制信息量的数目;②存取周期,又称存储器周期,是相邻两次访问存储器的最短时间间隔;③每位存储容量的价格。

存储器的类型 按物理介质可把存储器分为半导体存储器、磁芯存储器、磁盘存储器、磁带存储器以及光盘存储器等;按存取方式可分为随机存储器、顺序存储器和联想存储器;按实现方式可分为静态存储器、动态存储器;按功用可分为只读存储器、读写存储器等。

存储器的层次结构 计算机通常采用速度由快到慢、容量由小到大的各种存储器组成存储器层次体系,以满足高速、大容量及低成本的要求。图为存储器的层次框图。

(1) 高速缓冲存储器:是最接近中央处理器的一级存储器,用于存放当前使用的部分程序和数据,以改善主存储器与中央处理器的速度匹配,其主要特征是存取速度极快,但容量较小,对系统程序员透明。



存储系统

(2) 主存储器:是计算机的基本组成部分,用于

存放一个用户或多个用户处于活动状态的程序、数据、运行结果、操作系统的常驻部分,以及有关的系统和应用软件。其主要特征是存取速度快、容量较大、可随机存取。目前广泛使用半导体存储器。其容量从几十千字节到几百兆字节。

(3) 辅助存储器:作为主存储器的后备存储器,用于存放大量的系统软件、应用软件和数据。可和主存储器成批交换数据。其主要特征是存储容量大,非易失性、可靠性高和每位成本低,但存取速度较慢。对于磁盘存储器可直接存取,而磁带存储器则只能顺序存取。

存储器的控制和管理 对高速缓冲存储器的控制及它与主存储器之间的数据交换由硬件实现,以提高存取速度。对主存储器和辅助存储器的控制和管理由硬件和软件共同实现。为对多道程序环境下的存储器实施有效的管理,应具有分配、保护和主存扩充三方面的功能。

(1) 存储器分配:存储管理的最基本的功能是为每道程序分配必要的主存和辅存空间,使它们各得其所。在较完善的系统中还允许程序在运行过程中继续申请附加的存储空间,程序在主存中“移动”。

(2) 存储器保护:应保证多道程序都能在自己的存储空间中运行而互不干扰,还必须防止因一道程序非法访问并非属于自己的存储空间,而扰乱了其他程序,尤其要防止侵犯操作系统的内存区。

(3) 主存扩充:并非从物理上来扩充主存容量,而是通过虚拟存储技术(见虚拟存储器)从逻辑上来扩充主存容量,使用户所看到的主存容量远大于实际主存的容量。这样可使系统运行比物理主存空间大的程序,或让更多道的程序并发执行。

(汤子瀛 胡德河)

D

D chufaqi

D 触发器 (D flip-flop) 在时钟脉冲有效作用时期内, 它的输出新状态和输入端 D 状态相同的触发器。由于接线简单, 在时序逻辑电路中得到广泛应用。

图 1 是 D 触发器的逻辑符号, 其中 D 为输入端, CP 为时钟信号输入端, Q 和 \bar{Q} 为互补输出端。稳态下 Q 和 \bar{Q} 的逻辑状态始终相反。D 触发器的逻辑功能如表所示, 即时钟信号到达时触发器的新状态 Q^{n+1} (亦称次态) 和输入端 D 的状态相同。

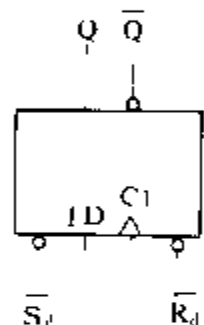


图 1 D 触发器的逻辑符号

D 触发器的电路结构有多种型式, 在双极型集成电路中经常采用图 2 所示的维持阻塞结构。

这是一种边沿触发型电路结构, 触发器的次态仅取决于 CP 信号上升沿到达时 D 的状态, 而不受在此前、后 D 端状态变化的影响。

D 触发器的逻辑功能表

D	Q^{n+1}
1	1
0	0

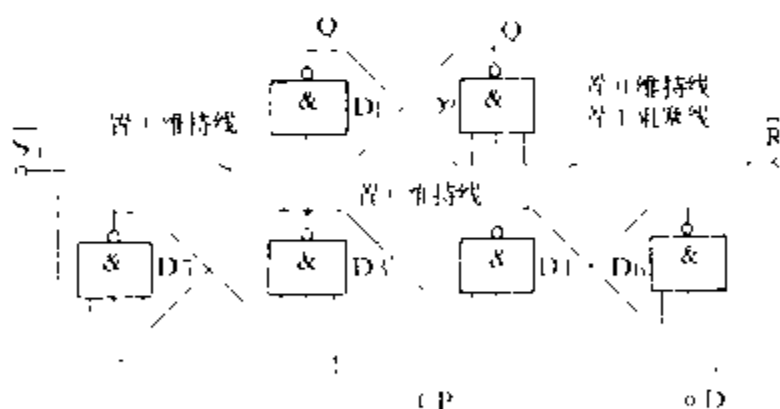


图 2 维持阻塞结构 D 触发器的逻辑图

如果 CP 信号上升沿到达时 $D=1$, 则门 D3 输出低电平、门 D4 输出高电平, 触发器被置成 $Q=1$ 、 $\bar{Q}=0$ 。而且, 由于置 1 维持线和置 0 阻塞线的作用, 即使以后 D 端改变状态, 仍可保证在 $CP=1$ 的全部时间里 D3、D4 输出的电平不变。反之, 若 CP 上升沿到达时 $D=0$, 则 D3 输出高电平、D4 输出低电平, 触发器被置成 $Q=0$ 、 $\bar{Q}=1$ 。而且, 无论以后 D 端是否改

变状态, D3、D4 的输出电平在 $CP=1$ 的全部时间里保持不变。

图中 S_d 和 R_d 称为异步置位端和异步复位端。通过在 S_d 或 R_d 端加入低电平信号可以将触发器置 1 或置 0, 而不受时钟和输入信号的影响。

在 CMOS 集成电路中, D 触发器多采用利用传输门的主从结构型式, 如图 3 所示。这也是一种边沿触发型的电路结构。当 $CP=0$ 时传输门 D1 和 D6 导通, D2 和 D5 截止, 从触发器保持状态不变, 主触发器接收 D 端的状态, 这时主、从触发器之间的联系被切断。等到 CP 的上升沿到达时, D1 和 D6 变为截止、D2 和 D5 变为导通, 主触发器将该瞬间 D 的状态保持下来, 并经过 D5 传给从触发器, 这时主触发器与输入端的联系被切断。

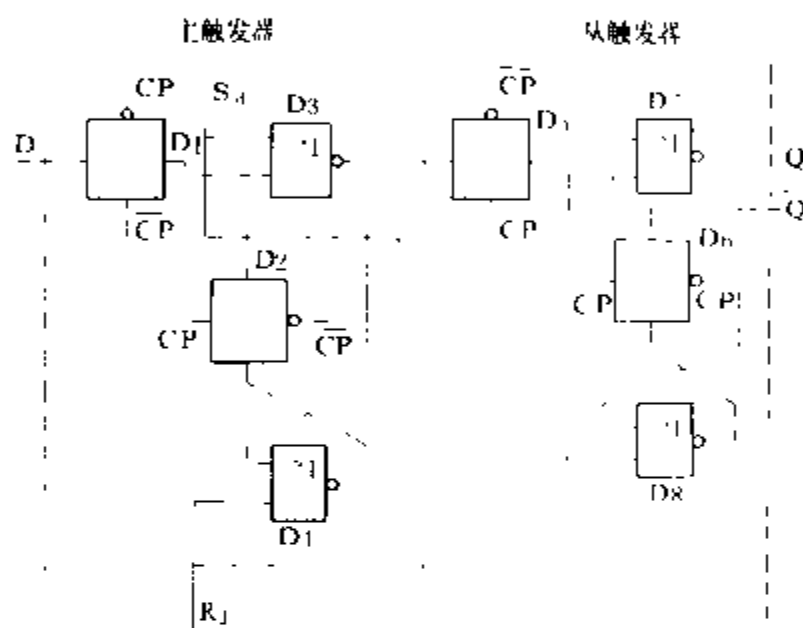


图 3 利用传输门的 CMOS 主从结构 D 触发器

(阎石)

daqi jiaozheng yinsu

大气校正因数 (atmosphere correction factor)

外绝缘和空气间隙在测试条件下的闪络电压与特定参考大气条件下闪络电压之间, 互相换算所采用的校正系数。

大气校正考虑了空气密度和湿度的影响因素, 在计算中分别用空气密度校正因数 K_d 和湿度校正因数 K_h 来体现其作用。

考虑在某种大气条件下的外绝缘耐受电压时, 由规定的耐受电压乘以 K_d/K_h 来确定。同样, 将实测的破坏性放电电压除以 K_d/K_h 可校正到标准大气条件下的电压值。

通常一定空气放电距离下的闪络电压随着空气密度的增加而升高, 这是因为电子的平均自由程会随空气密度的增加而减小, 电离过程会随之而减弱。在某些电极情况下, 闪络电压还随湿度的增加而升高, 这可能

是由于水分子容易吸附电子而形成负离子的缘故,从而使带电质点的平均自由程大为减短,电离程度减弱。

国际电工委员会(IEC)和中国国家标准规定的标准大气条件是:温度 t_0 为 20°C ;气压 p_0 为 101.3 kPa 。如果实际外绝缘闪络试验时的大气压力 p 用千帕斯卡(kPa)表示,温度 t 用摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)表示,则空气密度校正因数为

$$K_d = \left(\frac{p}{p_0}\right)^m \times \left(\frac{273+t_0}{273+t}\right)^n$$

在直流及雷电冲击电压作用下,无论哪一种间隙的 m 及 n 值都是1;对任何电压波形作用下的基本均匀电场间隙, m 及 n

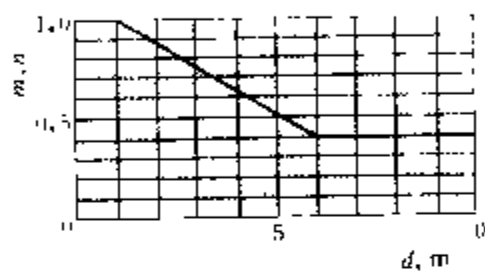
值也都取值为1。其他条件下的 m 及 n 值,可由图中曲线查得。由于资料尚不够充分,现标准中暂令

$m=n$ 。

湿度校正因数的表达式是: $K_h =$

$(K)^w$,式中的 K 和 w 可由有关的国家标准中查得。 K 值一般处于0.85至1.15的范围,决定于绝对湿度,并与电压波形有关。 w 值与电极形状、极间距离及电压波形有关。对施加任何种类电压的基本均匀电场间隙,以及施加直流或雷电冲击电压的负尖对正板电极,不进行湿度校正,即令 $K_h=1$ 。对施加负操作冲击电压的不均匀电场电极,也因研究资料不足,暂不进行湿度校正。

(陈昌潼)



m 及 n 值与极间距离 d 的关系

daxitong jianmo

大系统建模 (large-scale system modeling)

建立大系统模型的工作过程。为了进行大系统的分析,特别是定量的分析,需要建立各种实际系统的数学模型、网络模型或物理模型,并进行必要的、允许的简化,这一工作过程就是建模。

建模的基本假设 在建立实际系统的数学模型时,必须遵循某些基本假设,这是保证系统模型的可靠性与真实性的前提条件。假设有:①相对独立性,即可分离性。因为实际系统总是与环境或其他系统有千丝万缕的相互联系,大系统尤其如此,所以为了建立模型,需要假设被研究的系统是可以从它所处的复杂环境中分离出来的,成为一个相对独立的整体。②选择性。根据系统分析的目的和简化模型的需要,在建立模型时要选择主要因素和相互联系,忽略次要因素。③因果性。作为系统模型中的输入和输出,需要具有某种因

果关系,不能把没有因果关系的两种因素或同一原因的两种结果分别作为输入和输出。

建模的方法 通常建立系统数学模型有二类方法。一是演绎模型法。根据已知的原理、定律及关于实际系统结构和参数的知识,进行从一般到特殊的演绎推理,建立数学模型。这种方法可能得到唯一解,但要求详细了解实际系统。二是归纳模型法。利用对系统输入输出的观测资料、实际的运行或实验数据,从“黑箱”观点,用归纳方法建立系统的等效数学模型。这种方法不需要详细了解实际系统内部结构参数,但需要从许多等效模型中选择适用的模型。由于大系统的复杂性,单纯采用演绎法或归纳法都有困难,实际上是二者相结合。又因实际系统常由小系统关联组成,可以先建立小系统模型,再辨识其相互关联,分两步建立大系统的模型。

建模的类型 根据系统的空间、时间变量的离散化情况,可分为三类数学模型:①集中参数模型。其空间变量是离散的,时间变量是连续的,如常微分方程、代数方程。②离散时间模型。其空间、时间变量都是离散的,如差分方程。③分布参数模型。其空间、时间变量都是连续的,如偏微分方程。

大系统模型简化方法 主要有集结法和摄动法。

集结法 在保留系统主要动态特性的条件下,用低阶模型代替高阶模型的方法。设大系统高阶状态方程为

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; A 为 $n \times n$ 矩阵; B 为 $n \times p$ 矩阵。低阶简化模型为

$$\dot{z} = Fz + Gu \quad (2)$$

式中 z 为 r 维集结状态变量, $r < n$; F 为 $r \times r$ 矩阵; G 为 $r \times p$ 矩阵。为了使集结状态变量 z 保留状态变量 x 的主要动态特性,令

$$z = Cx \quad (3)$$

式中 C 为 $r \times n$ 集结矩阵。要求简化模型满足下列“动态吻合”条件

$$\left. \begin{aligned} FC &= CA \\ G &= CB \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

根据式(4),由已知矩阵 A 、 B 及选择的集结矩阵 C ,可求出简化模型的矩阵 F 、 G 。在矩阵 F 中将保留矩阵 A 的 n 个特征值中的 r 个主要特征值。

集结法的优点是保留了系统主要动态特性,如稳定性。其缺点是只适用于线性系统,且要计算高阶矩阵 A 的特征值,工作量较大。需要进一步研究的问题是选择适当的集结矩阵 C ,使得由简化模型设计的最优控制器、滤波器在实际系统中运行性能尽可能好。由模型简化引起的误差可以不计。

摄动法 从原高阶方程中,略去含小参数的摄动项,而得到简化模型。有两种方法:

(1)奇异摄动法:当小参数项出现在原微分方程组左侧时,如

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_1u_1 \\ \epsilon \dot{x}_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + B_2u_2 \end{cases} \quad (5)$$

若略去小参数摄动项,令 $\epsilon=0$,则可得简化模型

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_1u_1 \\ 0 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + B_2u_2 \end{cases} \quad (6)$$

这种方法适用于强耦合系统中快变化过程与慢变化过程可分离的场合。

(2)非奇异摄动法:当小参数项出现在原方程组右侧时,如

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_{11}x_1 + \epsilon A_{12}x_2 + B_1u_1 \\ \dot{x}_2 = \epsilon A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + B_2u_2 \end{cases} \quad (7)$$

若略去小参数项,令 $\epsilon=0$,可得简化模型

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_{11}x_1 + B_1u_1 \\ \dot{x}_2 = A_{22}x_2 + B_2u_2 \end{cases} \quad (8)$$

这种方法适用于弱耦合系统。

(童建中 于 勃)

daxitong lilun

大系统理论 (large-scale system theory)

关于大系统的构成、分析和设计的理论。包括大系统建模、模型降阶、递阶控制、分散控制和稳定性等内容。大系统一般是指规模庞大、结构复杂(环节多、层次多或关系复杂)、目标多样、影响因素众多,且常带有随机性的系统。这类系统不能采用常规的建模方法、控制方法和优化方法来进行分析和设计,因为常规方法无法通过合理的计算工作量得到满意的解答。大系统理论是自动控制理论的一个组成部分。

随着生产的发展和科学技术的进步,出现了许多大系统,例如电力系统、交通运输网、通信网、柔性制造系统、生态系统、水资源系统、社会经济系统等等。电力系统是典型的大系统之一。电力系统是电能生产、变换、输送、分配、消费的各种设备按照一定的技术和经济要求有机组成的一个统一系统的总称。世界上巨大的电力系统总装机容量达几亿千瓦,地域范围纵横几千公里。电能一般不能储藏,生产、输送、分配和消费是在同一瞬间进行的。在电力系统中,电能的生产量应时时刻刻与电能的消费量保持平衡,并需保证电能质量。整个电力系统是联在一起的,任何一点发生的电磁变化过程都以光速传播,瞬间影响和波及全系统,因此在电力系统中要求实施快速的控制。

经典控制理论和现代控制理论都是建立在集中控制的基础上的,即认为整个系统的信息能集中到一点,

经过处理,再向系统各部分发出控制信号。这种理论应用到大系统时遇到了困难。不仅由于系统庞大,信息难以集中;即使集中了,需处理的信息量也太大,难以实现。因而需要有新的理论来处理大系统的问题。

在计算机技术方面,20世纪60年代初开始发展数据库技术,1970年提出关系型数据库,到80年代数据库技术已经达到相当的水平。60年代末计算机技术和通信技术相结合产生了数据通信。1969年美国国防部高级研究局的ARPA网的第一期工程投入使用取得成功,开创了计算机网络的使用。数据库技术和计算机网络为大系统的控制创造了条件。

1965年L. 莱夫科维茨(L. Lefkowitz)提出大系统多层结构的概念,即可以根据控制(管理)的功能将大系统分解为若干层次。1965~1970年M. 梅萨罗维茨(M. Mesarovic)等人提出大系统多级结构的概念,可把大系统分解成若干子系统,把总目标分解成若干子目标。1968年提出大系统的分散控制方法,可用一组只有局部信息的控制器来分别控制大系统的各个子系统,实现大系统的次优控制,以减少信息传输方面的困难和费用。国际自动控制联合会(IFAC)于1976年在意大利的乌第纳召开了第一届大系统学术会议,于1980年在法国的图鲁兹召开了第二届大系统学术会议。1980年在荷兰出版国际性期刊《大系统——理论与应用》。1982年美国电气与电子工程师学会(IEEE)举行了一次国际大系统专题讨论会。这些活动标志着大系统理论的诞生。

大系统结构 大系统结构方案取决于组成大系统的子系统集合和各子系统之间的关系。大系统的功能是通过互相关联的子系统所形成的一定结构来实现的。只有组织结构合理,大系统才能有效地运行。大系统的结构决定大系统的功能。结构方案不同,大系统的总体功能也就不同。实现同样的功能,可采用不同的结构方案,但效果不同。最优结构方案就是选择能满足系统目标要求的、总体功能最优的可行的结构方案。在大系统中由于受控对象分散和变量数目太多,因而不宜采用集中控制结构。如果所有的问题都集中到中央控制器上解决,则整个大系统的控制便难以进行。因此在各种工程和非工程大系统中存在着两种基本的结构方案,即递阶结构(层次结构)和分散结构。它们的共同特点是把大系统的总体功能和目标按一定关系分配到各子系统。这些子系统都具有各自的控制器,都有一定的决策能力。分解之后,子系统的阶数比整个大系统的阶数低得多,较易实现自身的最优化。然后再加以必要的协调,最终实现全局的最优化或次优化。在递阶结构中上级系统可以对下级系统实施调整、协调。分散结构只能依靠各并行工作的子系

统间的信息交换来调整。

大系统建模 为了进行大系统的分析,特别是定量的分析,需要建立各种实际系统的数学模型、网络模型或物理模型,并进行必要的、允许的简化。数学模型是用来描述系统动态和静态特性、性能指标、运行状态的数学表达式,如微分方程、代数方程、差分方程等。网络模型是用来表示系统信息流或物质流、时间顺序、逻辑关系等相互关系的,由支路、节点等组成的网络图、计划评审图(PERT)等等。物理模型是在大系统仿真中,用来模仿实际系统的物理过程、运行状态、生物或心理活动的物理的模型(见大系统建模)。

大系统分析 通过建立模型,对系统的技术性能、经济指标、社会效果、生态影响等进行分析,作出评价;对系统现有的运行状态进行预测和估计;对系统未来的发展动态与趋势进行预测和模拟;对系统的环境条件及其变化进行观测与分析等等。以便寻求改进现有系统的方法,为方案选择、决策制订提供依据,以实现大系统管理、控制、运行的最优化或合理化。大系统的定性、定量分析有:稳定性分析,可控性、可观性分析、可靠性、鲁棒性、灵敏度分析,可协调性分析等等。

大系统控制 有递阶控制和分散控制两种方式。

大系统稳定性 分析判断大系统能否正常稳定运行的理论和方法。稳定性是分析、综合、设计大系统必须考虑的重要问题,是大系统定性分析的主要内容。不稳定的大系统不能正常运行。分析大系统稳定性的方法有两种。①李雅普诺夫函数法:当系统输入为零时,研究在初始状态激励下大系统内部状态运动特性的稳定性。②输入输出法:在零初始条件下,研究有界输入是否会产生有界输出。大系统稳定性既依赖于各子系统的稳定性,又和各子系统之间的关联有关。因此,采用分解技术,将大系统分解成若干孤立的子系统,先按系统稳定性理论研究各子系统的稳定性,并设法定量地测算其稳定程度,同时定量地测算子系统之间关联的强弱对合成大系统稳定性的影响,根据这些测算找到某种条件去判断合成大系统的稳定性。已经找到的条件都是充分条件,用稳定性的充分条件判定成功,大系统是稳定的;用稳定性的充分条件判定失败,不能说明这个大系统是不稳定的,用不稳定性的充分条件判定成功,这个大系统才是不稳定的。反之亦然。

参考书目

李人厚,邵福庆.大系统的递阶与分散控制.西安:西安交通大学出版社,1986

(童建中 于 勃)

daxing jisuanji

大型计算机 (large computer) 性能界于小型机和巨型机之间的通用计算机,又称主机。通用是指计算机能面向多种应用。早期受器件技术的限制,采用十进制定点运算器的计算机适用于商业事务处理;采用二进制浮点运算器的计算机适用于科学计算。1964年IBM公司宣布了360系列机结构,采用集成电路,一台计算机支持上述的二种应用,从此通用计算机得到迅速发展。运算速度从20世纪70年代初的每秒1百万次到80年代末的每秒1亿次。除标量处理外,还可有向量处理功能。

大型计算机在终端联机系统、计算机网络系统、大型科学计算等应用场合,起着主干的作用。80年代,由于超级小型计算机性能的提高和计算机网络的普及,大型计算机的应用从包揽一切转向信息系统的数据库及大规模网络系统的通信枢纽。

大型计算机采用了与巨型计算机相近的先进技术来提高运算速度,如并行多处理机、ECL(射极耦合逻辑电路)高速器件、高密度微组装技术等。

(张德馨)

Daiweinan dingli

戴维南定理 (Thevenin theorem) 把一个复杂的有源线性非时变二端网络等效为一个最简单的有源二端网络的定理。1883年法国科学家L.C.戴维南(L.C.Thevenin)提出该定理,1853年德国人H.L.F.亥姆霍兹(H.L.F.Helmholtz)也曾提出过,因而又称亥姆霍兹-戴维南定理。

正弦交流电路中的戴维南定理 任一有源线性非时变二端网络N,对外可用一电压源和一等效阻抗的串联组合来等效(图1);此电压源的电压 \dot{U}_0 等于二端网络N的开路电压,等效阻抗 Z_0 等于二端网络N的全部独立电源置零后的输入阻抗(见图2)。电压源 \dot{U}_0 和阻抗 Z_0 的串联组合也称戴维南等效电路。

戴维南定理的应用 戴维南定理可用来简化有源二端网络,是常用的一条电路定理。例如,仅需计算电路中某一支路的电压和电流时,可将该电路的其他部

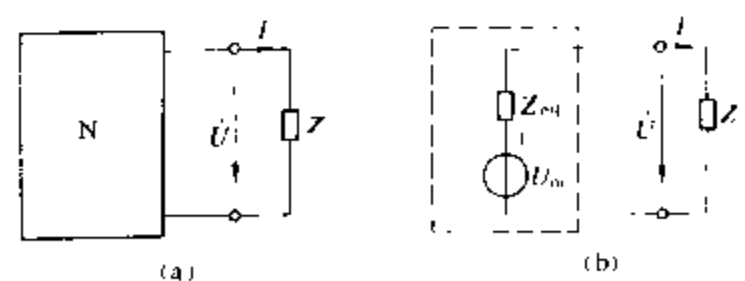


图1 戴维南定理

(a) 原电路; (b) 戴维南等效电路

分用戴维南定理加以等效,有时则很方便。如图1(a)中,若负荷 Z 是可变的,则利用戴维南定理可知,当 $Z=\dot{Z}_{eq}$ (\dot{Z}_{eq} 是 Z_{eq} 的共轭复数,见阻抗匹配)时负荷上可获取最大功率。

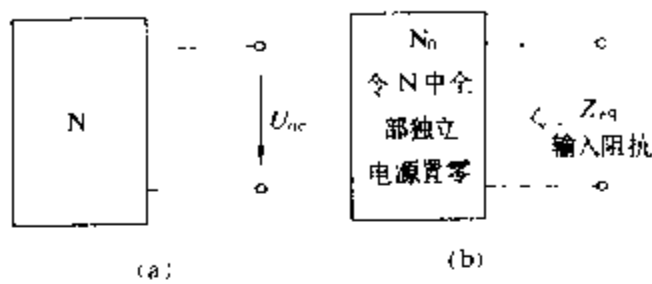


图2 开路电压和输入阻抗
(a) 开路电压 \dot{U}_o , (b) 输入阻抗 Z_{eq}

使用戴维南定理时,要求二端网络 N 与外电路之间没有受控源耦合或磁耦合,并且 N 的戴维南等效电路存在且唯一。

戴维南定理与外接电路无关。外接电路可以是线性、非线性二端元件或二端网络。戴维南定理还可推广应用于具有时变元件的有源线性多端口网络。

(范丽娟)

daima

代码 (code) 用来表示信息并能进行输入、传送、处理和输出的数码。字母、数字、控制符等都要表示为对应的二进制数码才能被数字设备识别。计算机中使用的代码有ASCII码、BCD码、EBCDIC码等。

ASCII码 美国信息交换标准码是美国国家标准

表1 ASCII码

$b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1$									
$b_7b_6b_5b_4$				$b_3b_2b_1$					
b_7	b_6	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	000	001	100 101 010 011 110 111
0	0	0	0	0	0	0	NUL	DLE	@ P SP 0 ' p
0	0	0	0	1	0	0	SOH	DC1	A Q ! 1 a q
0	0	0	1	0	0	0	STX	DC2	B R " 2 b r
0	0	1	0	0	0	0	ETX	DC3	C S # 3 c s
0	1	0	0	0	0	0	EOT	DC4	D T \$ 4 d t
0	1	0	0	1	0	0	ENQ	NAK	E U % 5 e u
0	1	1	0	0	0	0	ACK	SYN	F V & 6 f v
0	1	1	1	0	0	0	BEL	ETB	G W ' 7 g w
1	0	0	0	0	0	0	BS	CAN	H X (8 h x
1	0	0	0	1	0	0	HT	EM	I Y) 9 i y
1	0	1	0	0	0	0	LF	SUB	J Z * : j z
1	0	1	1	0	0	0	VJ	ESC	K [+ ; k i
1	1	0	0	0	0	0	FF	FS	L \ , < l ;
1	1	0	1	0	0	0	CR	GS	M] - = m }
1	1	1	0	0	0	0	SO	RS	N . > n ~
1	1	1	1	0	0	0	SI	VS	O - / ? o DEL

协会(ANSI)制订的,用7个二代码组成一个字符的编码标准。共有128种组合,它包括数字符、字母符、运算符和控制符等。见表1。

中国国标GB1988—80编码及国际标准5号码与ASCII码兼容。

BCD码 即二—十进制代码,是用带正整数权的4位二进制数表示一个十进制数的一种代码。4位二进制码有十六种组合,其中前十种组合分别表示一个十进制的数,后六种组合为非法码。权为8421的BCD码见表2。

表2 BCD码

十进制数	权	8421	十进制数	权	8421
0		0000	8		1000
1		0001	9		1001
2		0010	非法码		1010
3		0011			1011
4		0100			1100
5		0101			1101
6		0110			1110
7		0111			1111

EBCDIC码 扩展二—十进制交换码是IBM公司在研制360系列计算机时引入的用8位二进制码表示一个字符、数字、控制和专门图形符的编码标准。它有256个字符集。8位二进制编码也可装配成二个4位的BCD码,这在某些应用中更为方便。

(蒲树良)

danjie jingtiguang

单结晶体管 (unijunction transistor) 具有一个PN结和两个基极的半导体器件。它是在一块低掺杂的N型硅基片一侧的两端各引出一个欧姆接触电极,叫做第一基极 b_1 和第二基极 b_2 ,如图1所示。而在硅片的另一侧较靠近 b_2 处,用合金或扩散法掺入受主杂质,形成一PN结,引出电极,称为发射

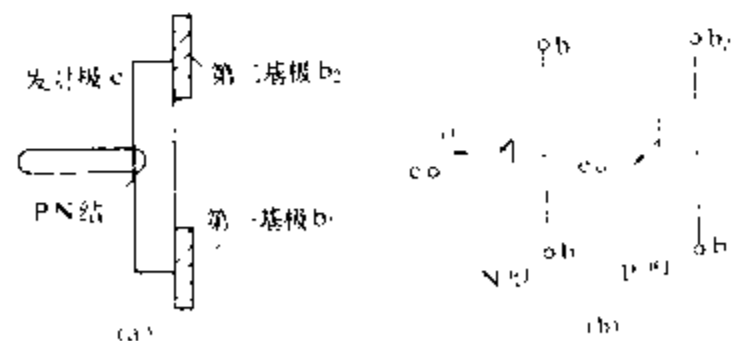


图1 单结晶体管
(a) 结构; (b) 图形符号

极 e, 其图形符号如图 1 (b) 所示。单结晶体管的伏安特性如图 2 所示。

由图可知, 它与隧道二极管相似, 亦具有负阻特性。中国产单结晶体管的型号有 BT31、BT32、BT35 等, B 表示半导体, T 表示特种管, 3 表示

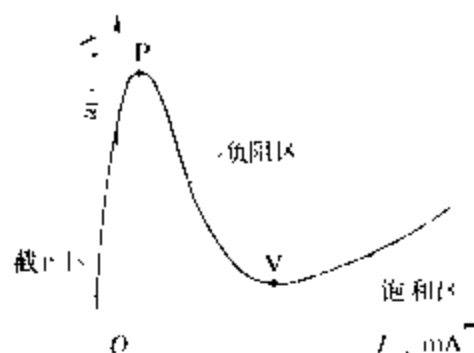


图 2 单结晶体管的伏安特性

三个电极, 第四个数字表示耗散的功率分别为 100、200、500 mW。

单结晶体管的负阻特性可以用来构成弛张振荡器, 常用于晶闸管的触发电路中。

(康华光)

danpian weixing jisuanqi

单片微型计算机 (single chip microcomputer) 把组成计算机所必需的中央处理器、存储器、输入输出接口等功能单元综合在一个单片上的大规模集成电路, 简称单片机。早期的单片机主要应用领域面向控制, 有位操作指令, 适用于事件控制, 又称微控制器。随着单片机功能的提高, 应用领域从传统的控制扩展为控制处理、数字信号处理、数值和数据处理。单片机体积小、可靠性高, 适合埋置于各种控制设备、通信设备、测量设备、制导武器和飞行器中, 故又称嵌入式控制器。

自 1975 年美国得克萨斯仪器公司 (TI) 推出 4 位单片机后, Intel 公司于 1976 年和 1983 年分别推出 8 位和 16 位单片机。

单片机的字长有 4、8、16 位。按其控制功能和处理功能的不同, 片内有几百字节的随机存储器 (RAM), 或可以有几千字节的只读存储器 (ROM), 有多级中断、定时/计数、异步串行口、A/D 变换器、D/A 变换器、脉宽调制器、监视跟踪定时器、快速乘法器等。外部可扩充直接寻址的 RAM 和 ROM。

单片机开发系统是研制嵌入式控制器应用系统的仿真和调试的得力工具。由宿主机、在线仿真器、通用编程器和仿真软件组成。在线仿真器为所研制的目标系统提供硬件环境。

(张德馨)

daodian cailiao

导电材料 (conductive materials) 在电场作用下能传导电流的材料。导电材料可分为良导体、不良导体及超导体三类。良导体的电阻率约为 $3 \times$

$10^{-8} \Omega \cdot m$ 左右, 否则为不良导体。在临界温度以上的超导体也属于不良导体, 甚至绝缘体。

良导体的主要功能是用于传输电能及电信号。要求在传输过程中能量损失尽可能少, 以导电性能优劣为序, 良导体包括银、铜、铝和金。其中金和银是贵金属, 只用于特殊场合, 如用于高频的镀银铜线、镀金的印刷线路板等。大量应用的是铜和铝。铜的导电性能和机械加工性能都优于铝, 但它在自然界的蕴藏量远少于铝, 因此在一般应用中有以铝代铜的趋势。

从传输损失来考虑, 不良导体不应用于传输电能, 其用途可分为以下几种:

(1) 和良导体组成复合材料。如铝包钢, 不锈钢包铜等, 用于增加强度、耐腐蚀、耐高温以及降低价格等目的。

(2) 用于能量转换。例如, 作为电热丝用的镍铬合金主要用于把电能转换成热能; 制造白炽灯的钨丝、钼丝用于把电能转换成光能。

(3) 用于信号转换。例如制造热电偶及各种传感器。

(4) 用于和导电无关的其他目的。如用作磁性材料, 导热材料及结构材料等。

常用的导电金属元素及其主要特性见表。

常用金属元素的电阻率、电阻温度系数和线膨胀系数表

金属	电 阻 率 ($\Omega \cdot m \times 10^{-8}$) 20℃	电阻温度系数 ($\times 10^{-3}$) 0~100℃	线膨胀系数 ($\times 10^{-5}$) 0~100℃
Ag	1.49	4.3	19.2
Al	2.5	4.6	23.2
Au	2.06	4.02	14.1
Co	5.57	6.04	13.7
Cr	14.1	3.01	6.5
Cu	1.55	4.33	16.8
Fe	8.6	6.51	11.7
Mo	5.03	4.73	5.0
Na	4.28	5.46	71
Ni	6.84	6.92	12.7
Pb	19.2	4.28	28.9
Pt	9.81	3.96	8.9
Sn(β)	13.1	4.47	30.9*
W	4.89	5.1	4.5
Zn	5.65	4.17	63.1*

* 指平行于晶轴的方向。

(黄嘉豫)

daona

导纳 (admittance) 见相量法。

daoti

导体 (conductors) 具有能在电场作用下流动的自由载流子的物质。包括金属导体、非金属导体及超导体。其特点是内部含有在电场作用下能沿着电场方向移动的带电粒子，通常是电子或离子。

在电工技术中金属导体应用范围最广。主要用于制造传输电能或电讯号的各种电线、电缆。此外，电热材料、电极材料、磁性材料、电阻材料、电机电器绕组都需用导体制作。

最常用的金属导体是铜 (Cu) 和铝 (Al)。它们是制造电线、电缆的主要金属。其次是铁 (Fe)，常用于增加电线的机械强度。铅 (Pb) 用于制作电缆的外层保护层。常用的电热材料有镍 (Ni)、铬 (Cr) 以及用于制造白炽灯的钨 (W) 和钼 (Mo)。熔体材料的主要成分有锡 (Sn) 和铅。钎焊材料以锡和铅为主，添加了锌 (Zn) 等物质。银 (Ag)、金 (Au)、铂 (Pt) 等贵金属用于特需的场合，如用于制作电触头、高频导线、印制电路板等。此外，自复熔断器中需要用钠 (Na)。

电导率大小是评定金属导体性能的主要依据，但必需兼顾其他性能，如机械强度、可加工性、价格等。

常用的非金属固体导电材料石墨，主要用于制造电极和炭刷。由于石墨属于半金属，常把它列为半导体类。

液体导电材料在电化中有广泛应用，在电工中极少用。气体导电材料常用于制造各种灯管、熔断器及灭弧装置。

金属导体的电阻率随温度升高而增加，非金属导体的电阻率随温度升高而减小，这一特征反映了金属导体的导电机理和其他导体不相同。

超导体在电工及电子学中的应用前景良好，但目前尚在研究阶段，还不能全面推广应用。近年来高温超导材料的研究取得了突破性进展，但圆满的理论尚未建立。

(黄嘉豫)

diwen yeti dianjiezhi jichuan

低温液体电介质击穿 (breakdown in cryogenic dielectric liquids) 用于低温电工设备中的液体电介质由绝缘状态突变为良导电状态的过程。目前可用作低温液态电介质的有液氮、液氦和液氢等。

低温液体电介质击穿现象的本质尚未完全掌握，还没有形成能完满地解释各种试验现象的完整理论。对低温液体电介质的击穿机理，有三种解释，可分别见液体电介质电击穿，液体电介质气泡击穿，液体电介质

小桥击穿。

影响低温液体电介质击穿的因素可归纳为三类：液体电介质种类及其状态，电极及其布置，施加电压类型。

(1) 液体电介质种类及其状态的影响：与常温下的变压器油相比，除液氮的击穿电压稍低外，液氮、液氢具有同等或稍高的工频击穿电压。因而在低温电工设备中，可按在常温下用变压器油作绝缘的情况一样来近似地考虑其绝缘距离。低温液体电介质的击穿电压一般随温度的下降而升高，随压力的增大而增加，这是低温液体电介质内气泡形成受阻的结果。杂质严重影响低温液体电介质的击穿电压，低温电工设备中需防止设备用油（如润滑油）污染液体电介质。在低温液体电介质流动的情况下，杂质集中形成小桥的过程受到阻碍，击穿发展过程受到影响，击穿电压比静止的低温液体电介质的高。

(2) 电极及其布置的影响：低温液体电介质的击穿电压与电极材料有关。对不同的低温液体，电极材料的影响亦不同。通常，用硬金属（如不锈钢）作电极时击穿电压最高，而用软金属（如铜或铝）作电极时击穿电压最低。电极表面的粗糙程度对低温液体电介质击穿电压的影响甚大，因此要求低温电工设备中的电极应尽可能光滑。随着电极面积的增大，低温液体电介质的击穿电压下降，其面积效应比变压器油的大。随着极间距离 d 的增加，击穿电压与 d^n 成比例增加。指数 n 的数值，根据不同的情况，在 0.5~1 的范围内变动。

(3) 施加电压类型的影响：低温液体电介质的击穿电压与施加的电压类型有关，1/50 μ s 雷电冲击击穿电压与交流击穿电压之比为 1.5~3.5。在极不均匀电场中，击穿具有极性效应，正极性击穿电压高于负极性击穿电压。这种极性效应与在空气中或变压器油中的情况正好相反。

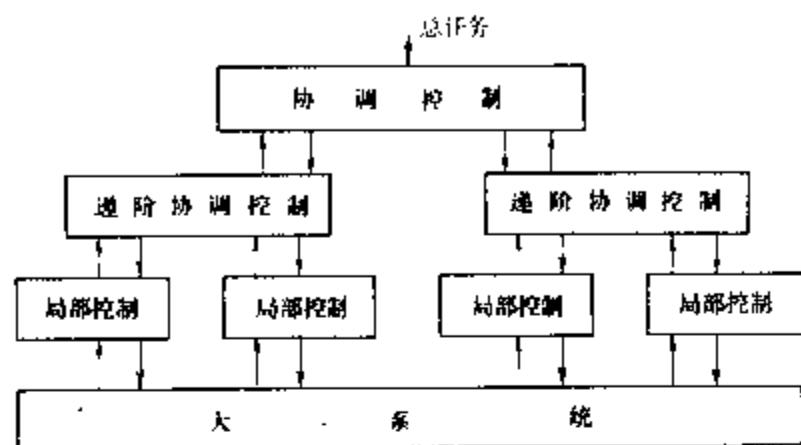
(谈克雄)

dijie kongzhi

递阶控制 (hierarchical control) 对递阶结构的大系统所采用的控制方式。它将一个复杂的大系统模型分解成一组低阶模型，每个低阶模型对应于一个子系统，各个子系统中设计对应的局部控制器，用协调级协调控制各个局部控制器，由协调控制和局部控制的共同作用，完成整个系统的控制任务。

图示一个三级递阶结构控制方式。第一级是局部控制级或最低决策级，它直接控制大系统的各局部过程或对象，构成各局部控制子系统。第二级是递阶协调控制级或中间决策级，它对各局部控制进行协调控

制,接受第三级的控制。第三级是协调控制级或最高决策级,它对第二级进行协调控制。根据大系统总控制目标,通过递阶结构控制,完成大系统管理、控制的总任务。



递阶结构控制方式

实现递阶控制的方法主要是分解-协调。分解是把高阶大系统分成若干子系统,用通常的最优化方法实现子系统的最优化。协调是在分解后的各子系统局部最优化的基础上,使总目标函数极小化,实现大系统的全局最优化。

(童建中 于 渤)

ditui zuixiao ercheng guji

递推最小二乘估计 (recursive least squares estimation) 用新的现测值,对原来 k 时刻的最小二乘估计值 $\hat{\theta}(k)$ 作适当的修正,以获得 $(k+1)$ 时刻的最小二乘估计值的数学估计方法。递推最小二乘估计可减少计算量,节省内存,并可及时修正随时间变化的系统参数,在动态系统的在线参数估计中,获得广泛的应用。

系统的阶次为 n ,由观测次数为 N 的数据获得的最小二乘估计记作 $\hat{\theta}(N)$;相应的输出值和观测值矩阵记作 $Y(N)$, $X(N)$;由现测次数为 $N+1$ 的数据获得的估计,记作 $\hat{\theta}(N+1)$;每增加一个观测对 $u(N+1)$, $y(N+1)$ 时,相应的 $X(N)$, $Y(N)$ 也增加了一个分量,即或为

$$Y(N+1) = \begin{bmatrix} Y(N) \\ y(N+1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$X(N+1) = \begin{bmatrix} X(N) \\ x^T(N+1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $x^T(N+1) = [-y(n+N), -y(n+N-1), \dots, -y(N+1), u(n+N+1), \dots, u(N+1)]$ (3)

与最小二乘估计一样,由观测次数为 $N+1$ 的数据获得 $\hat{\theta}$ 的最小二乘估计为

$$\hat{\theta}(N+1) = [X^T(N+1)X(N+1)]^{-1} \times X^T(N+1)Y(N+1) \quad (4)$$

经推导并将 N 改为常用符号 k ,记 $P(k) = [x^T(k) \times x(k)]^{-1}$ 可得下述递推最小二乘估计公式为

$$K(k+1) = P(k)x(k+1) \times [1 + x^T(k+1)P(k)x(k+1)]^{-1} \quad (5)$$

$$P(k+1) = [I - K(k+1)x^T(k+1)]P(k) \quad (6)$$

$$\hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + K(k+1) \times [y(k+1) - x^T(k+1)\hat{\theta}(k)] \quad (7)$$

上式表示,新的参数估计值 $\hat{\theta}(k+1)$ 等于老的参数估计值 $\hat{\theta}(k)$,加修改项 $K(k+1)[y(k+1) - x^T(k+1)\hat{\theta}(k)]$,其中 $x^T(k+1)\hat{\theta}(k)$ 表示基于 $\hat{\theta}(k)$ 和观测值 $x^T(k+1)$ 对输出 $y(k+1)$ 的预测。所以, $[y(k+1) - x^T(k+1)\hat{\theta}(k)]$ 表示 $(k+1)$ 时刻输出的预测误差, $K(k+1)$ 是对预测误差的加权矩阵。

递推初值可以用下述方法选择:

(1)可以先取一批现测值, $k > 2n$ (n 为系统的阶),用最小二乘估计值 $\hat{\theta}$ 作为初值,即

$$P_0 = P(k) = [X^T(k)X(k)]^{-1}$$

$$\hat{\theta}_0 = [X^T(k)X(k)]^{-1}X^T(k)Y(k)$$

(2)令 $P_0 = a^2I$, a^2 为数值很大的标量, I 为单位矩阵, $\hat{\theta}_0$ 为任意值。

参考书目

韩曾晋,自适应控制系统。北京:机械工业出版社,1983

张成乾,张国强,系统辨识与参数估计。北京:机械工业出版社,1986

(蒋静坪)

dianbiao zhunque jibie

电表准确级别 (accuracy class of electrical meters)

表示在规定的工作条件下,指示电表标度尺工作部分的基本误差限,即最大允许引用误差。

电表基本误差的计算公式为 $\gamma = \frac{A_x - A_0}{A_m} \times 100\%$,式中

A_x 为被检表的示值; A_0 为标准表的示值; A_m 为标度尺工作部分的上量限。

对于以电角度定度的相位表,其基本误差 $\Delta\varphi$ 按下式计算: $\Delta\varphi = \varphi_x - \varphi_0$,其中 φ_x 为被检相位表的示值(电角度); φ_0 为标准相位表的示值(电角度)。

中国电表的准确级别分七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。它们与基本误差限的关系见表。

电表标度尺工作部分是指示值误差保证在允许误

差以内的那一部分标度尺。

电表准确级别与基本误差限

电 表 准确级别	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基 本 误差限(%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

复用电表对应于不同的被测量及不同的电流种类,可以有不同准确级别;对测量同一种量的多量程仪表,对应不同的量程也可以有不同的准确级别。

(赵庆恒)

dianchang dianqiangdu

电场强度 (electric field intensity) 表示电场基本特征的一个物理量,它等于放置于观察点的静止的正检验电荷所受到的力与电荷的比值。令 q 是电量极小的正检验电荷, F 是 q 受到的力,则

$$E = F/q$$

电场强度是矢量,单位是伏特每米(V/m)。一般情况下, E 是时间和空间的函数。

电场强度与电荷的关系 如果已知电场中的电荷分布规律,特别是当电荷的分布集中在某一很小区域内,而待求某点的 E 的位置与该区域的距离远大于电荷分布区域的线度时,可把带有电量 q 的电荷看作点电荷,点电荷所在处称为源点,根据库仑定律可得出真空中某点(称为场点)处的 E 为

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} r^0$$

式中 ϵ_0 是真空电容率, $\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$; r^0 是从源点指向场点连线 r 方向的单位矢量。空气的电容率与 ϵ_0 十分接近。如空气中还有其他形式的电荷分布,例如线、面或体分布,利用场的叠加性,通过矢量积分可求出相应的电场强度 E 。

· 电力线 电场中 E 对某一面积 S 的面积分,即

$$\int_S E \cdot dS, \text{ 称为通过该面积的电场强度通量,所以电场}$$

强度又称为电通量密度。电场可用电力线来形象地描述其分布。电力线上某一点处的切线方向规定为该点电场强度 E 的方向。作电力线图形时,常使垂直于 E 的单位面积上所穿过的电力线的根数,正比于该点电场强度的大小。在静电场中,电力线起始于正电荷,终止于负电荷,既不闭合、中断,也不相交。根据按上述原则描绘出的静电场的电力线分布图象,很容易判断出电场的强弱分布。电力线密集处的电场强度数值必大于电力线稀疏处的电场强度的数值。如图1、图2所示。

击穿与电晕放电 当静电场中某处电场强度的数值大到某一程度时,将使该处周围绝缘材料产生电离

而放电。如放电持续发展整个绝缘间隙,在绝缘材料中形成良好的导电通路,使绝缘击穿。相应的电场强度

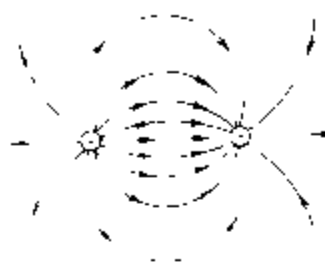


图1 正、负点电荷的电力线图

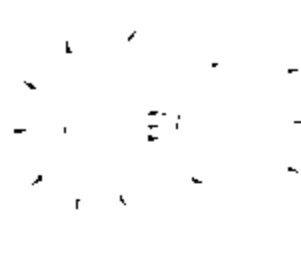


图2 正电荷邻近有导体时的电力线图

叫做该绝缘材料的击穿电场强度。干燥空气的击穿电场强度约为 $3 \times 10^6 \text{V/m}$ 。在不均匀电场中,例如高压输电线表面的电场强度达到这个数值后,紧邻导线表面的空气层中开始局部放电,称电晕放电。由于输电线间的电场为不均匀电场。一般说来,局部区域的电晕放电不致于继续延伸至另一导体表面而造成击穿,但是局部区域的电晕放电增加了电路的电力损耗,干扰附近通信线路,且危害附近的绝缘设备。随着超高压线路的投入运行,为了减少线路电晕放电带来的不良后果,工程上采用把具有同一电位的导线分裂成二根或更多根导线的方法使每根导线表面的电场强度明显下降,从而减少或避免电晕放电。这样的输电线路称为分裂导线输电线路。

(方正翔)

dianchutou canliao

电触头材料 (electric contact materials)

用于制造继电器、接触器和断路器等电触头的材料,又称触头材料。对这类材料的要求是:体积电阻率小;硬度适中;能承受较大的接触压力以减小接触电阻;化学性质稳定,表面不易生成各种化合物;耐电弧性能好,触头分合时产生的由放电引起的磨损变形小(在电弧放电过程中,触头材料发生从正端到负端或从负端到正端材料转移现象称为放电引起的磨损变形)。此外,还应尽量选用高熔点或升华材料,以防止在触头闭合时由于高温而导致熔焊。

常用的电触头材料有银合金、金合金、铂、钨、钼及其合金、碳化钨以及铜钨合金、铜铬合金等。

银合金触头 银的导电性好,除了易硫化外,化学稳定性好。硫化银对触头的接触电阻影响很小,因此是较好的触头材料。银的熔点仅 960°C ,硬度也不够高,银触头在分合时易产生磨损或熔焊,在银中添加少量其他金属或金属氧化物可使它的性能得到改善。

(1) GS 合金(CP3 合金):在银中添加10%金,以提高硬度,减少磨损量,防止触头表面硫化。但这种合金价格较贵,仅用于要求高的仪器设备中。

(2) Ag-CdO 合金:在银中添加 10%~13% 氧化镉 (CdO), 利用 CdO 在 900℃ 时升华的特性可防止熔焊。这种触头的容量可达几十安培。

(3) Ag-PbO 合金:在低气压场合使用时, 常添加少量氧化铅 (PbO)。如应用于航空仪表等。

金合金触头 含金 69%、银 25%、铂 6% 的合金称为 1 号合金, 代号 CP1。它的表面不会氧化, 接触电阻稳定性极好。但应防止放电时有害气体所生成的化合物导致触头表面污染。一般用于仪器设备。

铂、钨触头 铂的化学稳定性极好, 产生短电弧所需的最小放电电流 I_{min} 达 9A。但因价格昂贵, 极少应用。通常可以钨代铂, 性能虽略次于铂, 但加工性能优良, 价格适中, 适用于制造干簧继电器。

钨及其合金触头 钨的熔点高, 耐弧性能好, 但表面易生成氧化层, 使用时应施加足够的压力, 最好用于电压较高的场合。

钨银、钨铜烧结合金 含钨量为 50%~70%, 耐电弧性能极好, 适用于大电流回路。

碳化钨、银烧结合金 耐电弧性能好, 适用于大电流回路。

碳触头 碳的升华性能好, 能抗熔焊。但由于纯碳触头的接触电阻大, 通常将它和银混合, 烧结后使用。

真空开关用触头材料 铜铋 (Cu-Bi) 合金和铜碲硒 (Cu-Te-Se) 合金用于 10 kV 及 10 kV 以下的真空灭弧室, 铜铬 (Cu-Cr) 合金用于 10 kV 以上的真空灭弧室。

(黄嘉璋)

diāncí

电瓷 (electric ceramic) 作电气绝缘用的陶瓷。主要分普通电瓷和特种电瓷两大类。

普通电瓷 一般指长石质瓷, 由粘土、石英、长石以 2:1:1 左右的比例配合, 经制泥、成型、干燥、上釉、烧制 (1200~1350℃) 等工序制成。由于原料来源丰富、价格低廉, 能制成大型制品, 又具有较好的电气绝缘性能、力学性能、热性能、化学稳定性和耐气候性等特点, 在电力系统和电气设备的高低电压绝缘中获得广泛应用。普通电瓷用于制作悬挂导线的悬式绝缘子、对带电导体起绝缘和支承作用的支柱绝缘子、将电流引入或导出电气设备、穿过建筑物等用的套管绝缘子。近年来为适应制造高强度绝缘子和套管的需要, 发展了高强度瓷, 它是在长石质瓷组分中加入较多石英制成的高硅质瓷, 也有的用煅烧矾土或工业氧化铝部分或全部取代石英制成的高铝质瓷。

特种电瓷 一般指电子工业及其他特种用途的绝缘陶瓷, 常用的有氧化铝瓷、滑石瓷、氧化铍瓷、氮化

硼瓷、氮化硅瓷和介质陶瓷等。

氧化铝瓷 主要由刚玉 ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) 晶体组成, 具有良好的常温和高温电气绝缘性能、机械性能和化学稳定性能。氧化铝含量愈多, 性能愈好, 但制造也愈困难。氧化铝瓷广泛用于制造内燃机火花塞绝缘子、超高频大功率电真空器件的绝缘零件、电子管及整流器管壳、集成电路基片等。

滑石瓷 主要由滑石的高温分解物原顽辉石 ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) 晶体组成, 其特点是高频性能好, 价格低廉。广泛用作高频绝缘子、绝缘管和线圈骨架等。

氧化铍瓷 主要由氧化铍 (BeO) 晶体组成, 其特点是导热率特大、耐热冲击性在陶瓷中最佳且高频电性好, 可用作大功率晶体管的管壳、管座、散热片、集成电路基片等。活性氧化铍有毒, 生产上需采取特种防护措施。

氮化硼瓷 主要由氮化硼 (BN) 晶体组成, 其特点是高温绝缘电阻大, 微波介质损耗小, 机械加工性好, 可车削加工, 可用作高频绝缘材料、晶体管和集成线路的散热板、微波输出窗等。

氮化硅瓷 主要由氮化硅晶体 (Si_3N_4) 组成, 其特点是具有优异的机械强度、化学稳定性和高温绝缘性能, 主要用作高温电气绝缘材料。

介质陶瓷 包括钛酸盐、锆酸盐、锡酸盐、铌酸盐、钨酸盐等组成的品种繁多的陶瓷, 它们是电绝缘的, 但主要是利用这些材料晶体结构的特殊性, 高的电容率来制造各种陶瓷电容器, 例如金红石 (TiO_2) 陶瓷, 钛酸钡 (BaTiO_3) 陶瓷, 其电容率分别为 80 和几千到几万, 可制成各种用途的陶瓷电容器和其他电子元件。

(陈寿田)

diāncíbo

电磁波 (electromagnetic wave) 在空间传播的时变电场。它的传播速度为光速。无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、γ 射线和宇宙射线都是电磁波; 但它们的频率不同并依次由低至高, 或波长依次由长至短 (见图 1)。

在电容率 ϵ 、磁导率 μ 、电导率 γ 均为常数的均匀媒质中, 对于没有自由电荷, 传导电流的无源区, 根据时变电场麦克斯韦方程组可得: 电场强度 E 和磁场强度 H 均满足广义波动方程:

$$\nabla^2 E - \mu\gamma \frac{\partial E}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0$$

$$\nabla^2 H - \mu\gamma \frac{\partial H}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0$$

式中 t 为时间。该方程的解答为波的形式, 即电磁波。

沿 x 方向传播的一维正弦电磁波 若选择 y 轴与

电场强度方向一致, 则电场强度只有 y 分量 E_y , 而磁

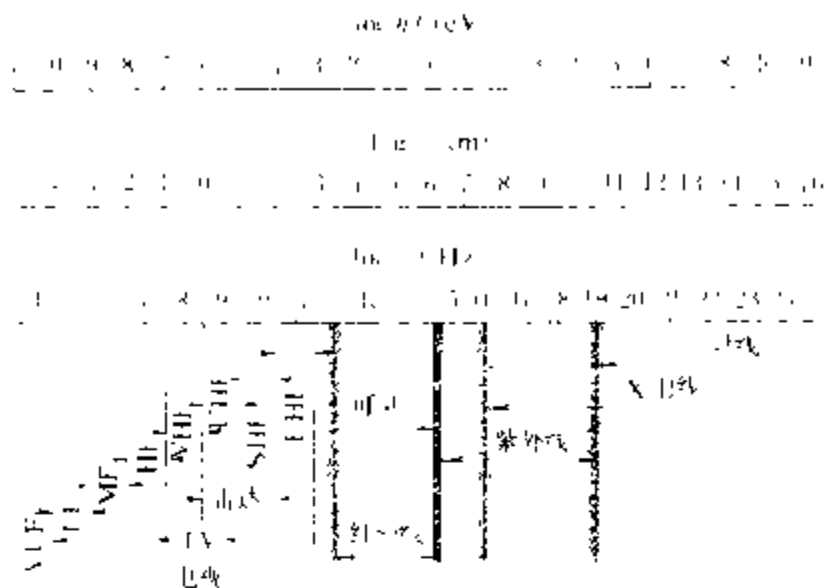


图1 电磁波谱

VLF—甚低频; LF—低频; MF—中频; HF—高频;
VHF—甚高频; UHF—次高频; SHF—超高频;
EHF—极高频

场强度只有 z 分量 H_z 。这种电磁波是一种平面电磁波。令 v 是沿 x 方向的传播速度, λ 是波长, β 是相位常数, ω 是角频率, 则 $v = \omega / \beta$, $\lambda = 2\pi / \beta$ 。当波在传播过程中遇到两种媒质的交界面时, 将发生波的反射、折射现象。

良电介质中的波 此时, $\gamma = 0$

$$E_y = E_m \sin(\omega t - \beta x)$$

$$H_z = H_m \sin(\omega t - \beta x)$$

式中 ω 为角频率, $\omega = 2\pi f$; f 为频率; β 为相位常数, 且 $\beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$ 。

波的振幅无衰减, 波形如图2。任意瞬时电场强度最大值与磁场强度最大值的位置总是重合在一处的, 各处的电场能量密度等于磁场能量密度。

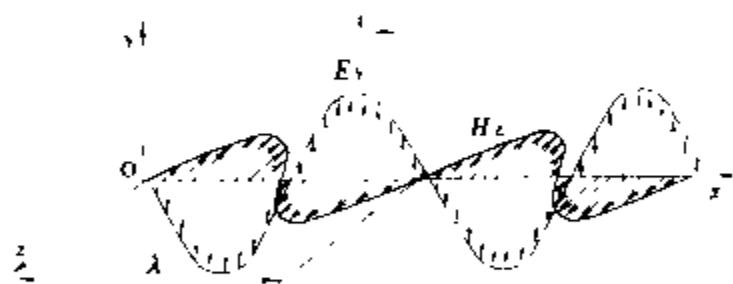


图2 良电介质中沿 x 方向传播的一维正弦电磁波

良导体中的波 可忽略位移电流时

$$E_y = E_m e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \beta x)$$

$$H_z = H_m e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \beta x - \pi/4)$$

式中 $\beta = \sqrt{\frac{\omega\mu\gamma}{2}}$, 波的振幅沿传播方向衰减, α 为衰减常数, $\alpha = \beta$ 。波形如图3所示。任意瞬时电场强度最大值与磁场强度最大值的位置不重合在一起。

有损耗电介质中的波 这属于一般情况。此时

$$E_y = E_m e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \beta x)$$

$$H_z = H_m e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \beta x - \theta)$$

$$\text{式中 } \beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{\omega^2 \epsilon^2}} + 1 \right)}$$

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{\omega^2 \epsilon^2}} - 1 \right)}; \theta \text{ 是常数。}$$

极化波 在无线电工程中, 常遇有不只一个同频率正弦电磁波沿同一方向传播, 而且在传播方向上无电场分量, 即电场强度矢量在与波前进方向相垂直的平面内 (见图2和图3)。在与波前进方向垂直的任一平面内合成电场矢量末端对时间的轨迹可分为几种不同的情况: ①直线; ②圆; ③椭圆。对应的波分别称为线极化波、圆极化波、椭圆极化波。

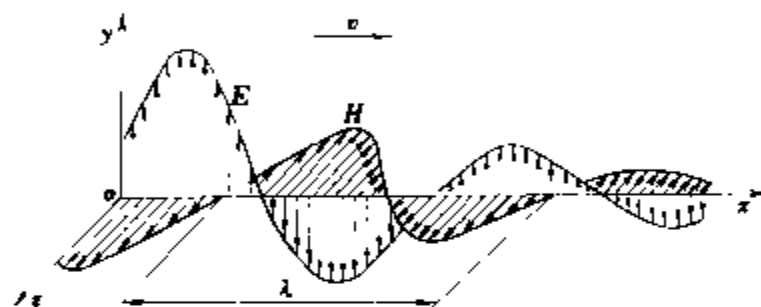


图3 良导体中沿 x 方向传播的一维正弦电磁波

(马信山)

dianci celiang

电磁测量 (electromagnetic measurements)

对表征电和磁的各种物理量的测量。在电力系统中, 广泛用于检查或确定系统、设备、元件、材料等的工作状况与性能。

对象与内容 电磁测量的对象主要是电学量与磁学量。电学量包括电参量 (如电压、电流、频率、功率、电能、相角、功率因数等) 与电参数 (如电阻、电容、电感、电阻时间常数、介质损耗角正切等); 其中电压、电流是基本量, 因其他各量常可通过它们而间接得到。磁学量包括磁通量、磁感应强度、磁通势、磁场强度、磁导率、铁芯损耗等, 其中磁感应强度与磁场强度是基本量。

测量包括监测、工业测试和精密测量, 后两者要求获取符合准确要求的数据。为此应当: ①选择合宜的测量方式、方法; ②采用适当的测量仪器仪表; ③分析误差来源, 考虑减小误差的措施。

测量方式 有直接测量、间接测量、组合测量。①直接测量。即待测之量可由仪表直接读得, 如由电压表的刻度或显示直接读出待测电压值; ②间接测量。指待测之量要通过若干由直接测量获取的数据, 经明显的函数关系得到, 如由直流电压表和电流表的示值计算功率或电阻值等; ③组合测量。它获取数据的方式与间

接测量相同,但要解方程组方能得到待测之量,如测温度系数等。

测量方法 大致分为直读法与较量法两类。

直读法 指被测之量可由一台仪表(直接测量)或几台仪表(间接测量)的示值直接或间接获取。这些仪表已事先用标准量进行标定,因此在实际测量过程中,标准量并没直接参预,类似用弹簧秤称重的情况。

较量法 指在测量即比较过程中,被测之量与作为标准量的标准元件直接进行比较,有如用天秤称重,砝码就是标准元件。较量法主要包括零位法、差值法、替代法等。

(1) **零位法**:在比较过程中,当待测之量与标准量相等,或满足一定条件时,检测仪表指零。平衡状态下的电桥和电位差计即属于这种情况。此法依赖标准元件的高准确度,检测仪表的高灵敏度,能得到高度准确的测量结果。

(2) **差值法**:在比较过程中,并未达到平衡状态。这时是利用标准量与测得的差值之代数和去求取被测的量值,如差值很小,仍能得到准确的测量结果。例如将被测电压与一标准电压对接,测两者的差值;如此,标准电压与此差值的代数和即为被测电压之值。

(3) **替代法**:具体步骤为先用仪表或仪器测待测之量,记下仪表的示值或仪器的工作状态,然后用相同性质的标准量代替前者,调节标准量使仪表的示值或仪器的工作状态同前,则标准量即与待测之量相等。理论上,测量结果只决定于标准量的误差。例如用交流电桥测电容,令电桥平衡,取去被测电容代以可变标准电容,只调后者使电桥再度平衡,则此时标准电容值就是待测电容之值。

测量仪表 分为模拟式仪表与数字式仪表两大类。

模拟式仪表 根据经典电磁测量原理制成的电表与仪器,又称经典式仪表。包括直读式电表、较量仪器与记录仪表。

(1) **直读式电表**:又称机械式指示电表。当被测的电参量加到电表的测量机构时,将产生力矩,驱使测量机构的可动部分带动指针或光标在标度盘上偏移。由偏移标度可读出被测之量的量值。这种电表能反映被测之量的缓慢连续变化。根据产生力矩的原理,机械式指示电表包括磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系等类型的电表。机械式指示电表大量用于电力系统,电机、电器制造工业和有关科研与技术开发中,或为监测、工业测试和研究的有力工具。

(2) **较量仪器**:用准确度高的元件组或的测量装置,用于实现待测之量与标准量的直接比较。有时也将标准量装在仪器内,例如测电阻的惠斯登电桥、开尔文

电桥,测阻抗的各种交流电桥和测电压的电位差计等。较量仪器一般要比直读式电表有更高的准确度。

(3) **记录仪表**:包括用于记录或显示电压、电流、功率等的波形或动态过程的仪表,如自动平衡式记录仪表、直接驱动式记录仪表、机械示波器和反映两变量间函数关系的X-Y记录仪等。它们将被测的电学量的变化转换为机械运动的轨迹描绘在记录纸或胶片上,但只能记录较低频率或缓慢变化的信号。阴极射线示波器的使用频率远高于工频范围。记录仪表还包括具有随时间累计功能的仪表,如电能表、复费率电能表、最大需量表、无功电能表、直流电能表等。

数字式仪表 这类仪表的工作原理与模拟式仪表不同。对于稳定幅值的被测之量是利用模数转换将该幅值量化为离散形式的数据,经处理后以数字方式显示。对于随时间变化的量或先将其化为稳定幅值的量或利用采样—保持环节先将该量沿时间轴离散化为不同幅值的量,再对每一离散幅值进行量化,经综合处理后,以数字形式显示。

数字式仪表可以做到准确度高、速度快,便于记录、储存和与计算机结合,能有效地扩大这类仪表的功能。这主要归功于电子技术、半导体技术、计算机技术等的高速发展。到目前已制出体积不大、性能良好、能测各种量的多功能的数字式仪表,其中测电学量的精密数字仪表的准确度已达到计量水平,足以代替精密的模拟式标准仪表。数字式仪表能具备一般模拟式仪表难于甚至无法实现的功能,显见的趋势是在不久的将来它有可能代替大部分的模拟式仪表。

测量误差 由于测量方法的不完善,所用仪器仪表和标准元件不够准确,存在各种干扰因素等原因,测量结果中必然存在误差。

根据误差的来源及变化特征,误差分为系统误差、随机误差和疏失误差。①系统误差:在重复测量同一个量时,保持不变或按一定规律变化的误差;②随机误差:在重复测量同一个量时,以随机方式出现的误差;③疏失误差:粗心大意所引起的误差,应剔除。

对于电力系统与电机、电器制造业,大部分测试结果中的主要误差是系统误差。首先要探索其来源,并确定其变化规律,然后据以选择应采取的改善措施。例如直流电桥桥臂中如存在热电动势,将引起固定的系统误差,可采取改变电桥电源极性,测两次数据取平均值的方法来消除它的影响。又如直流电位差计的电源可能随时间作线性变化,这类问题可采用等时距对称法进行处理,即以某一时刻为中心,取在其之前与之后的等时间间隔的一些成对数据,理论上,在这些数据的平均值中已不存在这一线性变化因素所引起的误差。

不同的测量任务,有不同的准确度要求,也就是允

许存在不同的误差。测量工作者应按允许误差选择测量方法和相应准确级的仪器仪表，而不是一味追求高准确度。

发展 起源于19世纪20年代，被称为经典的电磁测量技术，到20世纪中叶已形成自己的科学体系，以后依然有不少令人瞩目的发展。如成系列的变换器式电表、带感应耦合臂的变压器电桥、电流比较仪、将半导体器件结合到桥体以内的有源电桥等。

50年代是电磁测量与仪表发展的一个重要里程碑。这时，由于引入了数字技术使电磁测量实现了数字化。1952年出现第一台直流数字电压表。随着半导体技术、计算机技术、集成电路的发展，具有不同功能和高性能的各种数字式仪表相继问世。测量对象也扩展到非电量领域。就仪表本身而论，表现为其内部将有更多的硬件环节为软件代替，这更有利于使仪表实现智能化。对需用多台数字式仪表完成的复杂测量任务，其趋势是通过计算机形成测量系统。

科学技术的发展，对电磁测量不断提出新的要求，其他学科的新成就也丰富了电磁测量的内容。就电力系统而论，由于它的规模日益增大，电压等级不断提高，要求提供新型的测量高电压和在高电压下测量大电流的仪表。为此，生产和科研部门正在研制利用光学原理的仪表。近年来，由于电网中非线性负荷的迅猛增加，如大容量电弧炉、电气化铁道、直流输电、交直流间的整流和逆变等，使得谐波含量严重，这要求提供适合此情况的新型仪表。超导技术虽然目前仍处于研究阶段，但将在电力系统和其他科学领域中发挥重要作用，必然对电磁测量提出新的要求。这些都将促使电磁测量的理论和技术继续发展。

(唐统一)

diancichang

电磁场 (electromagnetic field) 以电场强度矢量、磁感应强度矢量为表征的场。它是一种特殊形式的物质，是能量转换与信息传播的媒介。物理学中的场，是指空间每一点被赋予的物理量的全体。例如室内各处温度的全体，构成了室内的温度场，温度是标量，温度场是标量场。对电磁场来讲，空间各处的电场强度、磁感应强度都是矢量，所以电磁场是矢量场。和自然界的其他物质一样，电磁场具有能量、动量。电磁场对电荷、电流有作用力，这性质被用来制造机械式指示电表、电动机、粒子加速器等装置。导电物体在磁场中运动能激起感应电动势并可以产生电流，这性质被用来制造发电机、磁流体发电装置。电磁场能够以波的形式在空间传播，这性质被用来制造无线电通信设备。

对电磁场认识的历史回顾 人类对电磁场的认识

经历了漫长的岁月。人类很早就接触到电磁现象。远古时代，人们无疑已看到了自然界的雷电现象。至于磁现象，人类最初接触到的是天然磁石。公元前4至3世纪中国出现的《管子》一书中，已有关于磁石吸铁的记载。可是直到18世纪30年代才确定了只有两种电荷，1785年才第一次发现了关于电力的定量定律，即以法国物理学家C. A. 库仑(C. A. de Coulomb)的姓氏命名的库仑定律。库仑后来还证实了两个磁极间的作用力也遵循类似的定律。

相隔一定距离的两个带电体或两个磁极之间，有着吸力或斥力。拖动重物时，人们靠绳子把力传给重物。可是电力或磁力似乎不要任何中间媒质来传递。不凭借中间媒质的作用，一个带电体(或磁极)可使处在一定距离之外的另一个带电体(或磁极)受力的观点，是“超距作用”的观点。

英国物理学家M. 法拉第(Michael Faraday)却持另一看法。他认为在两个带电体或磁极之间的空间里，充满着一种处于紧张状态的媒质。他根据两个磁极之间的铁屑会排成规则线状的事实，提出了“力线”的概念。他认为空间充满了力线，力线终止于带电体或磁极上。他还想象力线类似橡皮筋，当它们处在紧张状态时，沿力线方向有张力，垂直于力线方向有压力。正是力线使带电体或磁极受力。法拉第摒弃了“超距作用”的观点，实际上他以充满空间的力线的形式，第一次提出了场的思想。只要把力线换成空间各处的场量，就得到了关于电磁场的思想。直到现在，力线仍是研究电磁场的一种手段(见电场强度，磁感应强度)。

英国的物理学家J. C. 麦克斯韦(James Clerk Maxwell)继承、发扬了法拉第的思想。麦克斯韦把电磁作用归结为力线的作用。他用数学公式描述了法拉第提出的力线思想。他认为空间充满了一种特殊物质，电场变化时，这种物质会形成电流即位移电流。从而他预见到电磁波的存在，波以光速在空间传播，光也是电磁波。这样，他把光和电磁波统一起来。1864年，他在《电磁场的动力学理论》论文中，将电磁场的分布变化规律总结为麦克斯韦方程组。他提出的理论并没立刻被人接受。直到这理论提出20多年后的1887~1888年，德国物理学家H. R. 赫兹(Henrich Rudolf Hertz)用实验方法产生出电磁波，并证明它以光速传播，关于电磁场的理论才得到了实验的证实。在广播、电视、通信等领域，电磁波得到了广泛的应用。光从地球传到火星的时间约三分钟。从地球向火星发射电磁波后，即使立刻关闭发射装置，电磁波仍然存在并能传播到火星探测器上去。这有力地证明了电磁波是物质。

电磁场分类 电磁场可分为静电场、恒定电场、恒定磁场和时变电磁场。

静电场 存在于静止电荷或驻极体周围的、不随时间变化的电场。

恒定电场 导体内有恒定电流时, 存在于导体及其周围的、不随时间变化的电场。

恒定磁场 存在于恒定电流或永久磁铁周围的、不随时间变化的磁场。

时变电磁场 随时间变化的电磁场。即使激发它的电荷、电流消失, 它仍可存在。

媒质对电磁场的影响 物体由原子构成。原子核带正电荷, 绕核旋转的电子带负电荷。深入到原子的微观领域, 看到的是不连续分布的电荷和电荷的运动。原子直径的数量级为 10^{-8} cm。设想用某种实验装置的探头测量电荷, 即使探头的直径小到 10^{-2} cm, 它也是原子直径的百万倍。用这种装置测到的最小电荷, 也要包含亿个以上的带电粒子。应用这种装置从宏观的角度研究电现象时, 观察不到运动着的、作不连续分布的带电粒子这样的微观现象, 只能观察到它的统计平均效应。因此, 可以认为电荷是连续分布的, 可以认为有不带电的物体等等。可是, 从物质的微观结构看, 却有电荷、电流(运动着的电荷)存在。当物体受外界电场、磁场作用时, 由于物体自身具有的电磁特性, 物体会反过来影响原来的电场、磁场。从宏观的角度来处理这种影响时, 往往用表征媒质(材料)电磁性能统计平均效应的一些参数来考虑这种影响。电容率(介电常数)、磁导率就是这些参数的例子。这些参数的值通常由实验确定。有些媒质是各向同性的, 有些是各向异性的。例如有取向的冷轧硅钢片, 顺着轧制它的方向, 材料的导磁性能好; 垂直于轧制它的方向, 导磁性能差。这种材料就是各向异性的。用它制造变压器的铁芯时, 必须沿轧制方向将硅钢片切成长条。反之, 在任何方向上, 媒质的电磁性能相同, 这种媒质是各向同性的。无取向的硅钢片属于这类。

(肖达川)

dianci fushu

电磁辐射 (electromagnetic radiation)

电磁场能量以波的形式向周围空间发射电磁波的现象。按电磁波的频率由低到高(即波长由长到短), 电磁辐射可分为无线电辐射、红外辐射、可见光辐射、紫外线辐射、X射线辐射、 γ 射线辐射及宇宙射线辐射等(见电磁波)。

在无线电工程中, 常用的电磁辐射器是发送天线。它是产生电磁

图1 电偶极子

波的辐射源。对真空或空气中交变电偶极子(如直导线

段与两圆球组成的, 见图1)所产生的电磁场, 在远区(即观察点与偶极子间距离 r 远大于波长 λ 的区域)电场强度 E 与磁场强度 H 分别为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \times \frac{q''(t-r/c)}{r} l \sin\theta \cdot \theta$$

$$H = \frac{1}{4\pi c} \times \frac{q''(t-r/c)}{r} l \sin\theta \cdot \alpha$$

这里采用球坐标 (r, θ, α) 。 q 为偶极子电荷; $q''(t-r/c)$ 为对变量 $(t-r/c)$ 的二阶导数; t 为时间; c 为电磁波传播速度, 即光速。该式表明, 在观察点 t 瞬时的场量与以前 $(t-r/c)$ 瞬时的电荷 q 的二阶导数有关; 场量与 r 均成反比关系。电场强度与磁场强度的比值为—常量, 即波阻抗 Z_c , 且

$$Z_c = \frac{E}{H} = \frac{1}{\epsilon_0 c} = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \approx 377 \Omega$$

电场能量密度恰好等于磁场能量密度。

正弦交变单元电偶极子的发射功率 P 为

$$P = 80\pi^2 (l/\lambda)^2 I^2$$

式中 λ 为波长, $\lambda=c/f$; f 为频率; I 为电偶极子电流有效值。等效辐射电阻为

$$R = P/I^2 = 80\pi^2 (l/\lambda)^2$$

辐射电阻的大小可用来表示辐射能力的强弱。当电源频率较高即波长 λ 较短时, 可使用 l 较短的天线发送相同的辐射功率。

真空或空气中交变单元磁偶极子亦可辐射电磁波, 如载有交流电流的

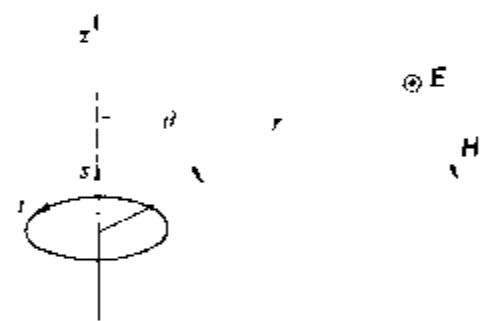


图2 磁偶极子

线匝, 见图2。线匝所限定的面积为 S , 线匝中电流为 i ; 其远区电场强度 E 与磁场强度 H 分别为

$$E = \frac{\mu_0}{4\pi c} \times \frac{i''(t-r/c)}{r} S \sin\theta \cdot (-\alpha)$$

$$H = \frac{1}{4\pi c^2} \times \frac{i''(t-r/c)}{r} S \sin\theta \cdot \theta$$

该式表明场量亦与 r 均成反比关系, 电场强度与磁场强度的比值仍为常量即波阻抗 Z_c 。

实际的线形天线的电磁场可以看成许多单元偶极子所产生的电磁场的叠加。将许多天线组合后还可以构成天线阵, 调整天线间的相对位置和电流的幅值和相位可以获得所需的方向特性。

(马信山)

dianci ganying

电磁感应 (electromagnetic induction)

穿过回路所限定面的磁通量发生变化时,在回路中产生电动势的现象。这样产生的电动势,称为感应电动势。

图1中, S 是由回路 l 所限定的面, Φ 是穿过 S 面的磁通量。若回路为导电回路,该电动势将产生感应电流。电磁感应现象由英国物理学家 M. 法拉第 (Michael Faraday) 于 1831 年发现。发电机、变压器等重要电工设备即据此现象制成。

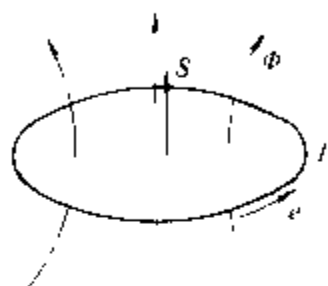


图1 感应电动势

当穿过导电回路所限定面的磁通量发生变化时,在该导电回路中产生感应电动势及感应电流。感应电动势 e 的大小 $|e|$ 正比于磁通量的时间变化率,其实际方向可由楞次定律决定。楞次定律指出:感应电动势的方向是企图产生一个电流,这个电流的作用是抵制原来磁通的变化。如果规定感应电动势的参考方向与该回路相交链的磁通 Φ 的参考方向成右手螺旋关系 (如图1),则电磁感应定律可表示为

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

式中 t 为时间; B 为磁感应强度; S 为由回路 l 所限定的面, dS 代表面元。对于多匝紧密绕制的线圈有

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\psi}{dt}$$

式中 N 为匝数; Φ 为每匝交链的磁通量; $\psi = N\Phi$ 是磁链。在国际单位制 (SI) 中,感应电动势的单位为伏 [特] (V),磁通量的单位为韦 [伯] (Wb),时间的单位为秒 (s),磁感应强度单位为特 [斯拉] (T),面积单位为平方米 (m^2)。

感应电动势的分类 按回路中磁通量的变化方式分作三类。

导电回路的全部或一部分在恒定磁场中运动时的感应电动势 此时,可以形象地想象成导体切割磁感应线。若导线为一段直导线 l ,其运动速度为 v ,均匀磁场的磁感应强度为 B ,而且 v 、 B 及导线方向三者互相垂直,则

$$|e| = vBl$$

式中, v 、 B 分别是 v 、 B 的量值。感应电动势的方向 (或感应电场方向) 可用右手定则来描述:将右手伸直,大姆指与其余四指分开,使大姆指与导线运动速度同方向,并使磁感应强度方向朝向手心,则其余四指将表示感应电动势的方向 (或感应电场的方向)。若导线为任一导电回路,则感应电动势 e 为

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = \oint_l (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

式中 l 为导电回路; v 为长度元的运动速度; B 为 $d\mathbf{l}$ 处的磁感应强度。电工中的直流发电机就是依据此规律工作的。因而,这种由导线运动引起的感应电动势称为发电机电动势。

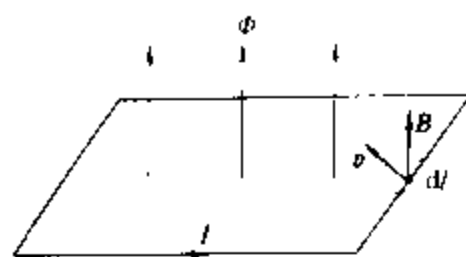


图2 发电机电动势

导电回路不运动,磁感应强度随时间变化时的感应电动势 此时,回路中的感应电动势 e 为

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

式中 S 为回路 l 所限定的面积; B 为面元 dS 处的磁感应强度。电工中的变压器就是依据此规律工作的。因而,这种由磁场随时间变化引起的感应电动势,称为变压器电动势。

导电回路的全部或一部分在时变磁场中运动时的感应电动势 此时,回路中感应电动势为发电机电动势和变压器电动势的叠加,即

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} + \oint_l (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

非导电回路中的电磁感应定律 J.C. 麦克斯韦 (J.C. Maxwell) 将电磁感应定律推广到非导电回路的情况,回路可在电介质中,也可在真空中。在任何媒质中,沿闭合回路 l 的感应电动势 e 等于感应电场强度 E_i 沿该回路的积分,即

$$e = \oint_l \mathbf{E}_i \cdot d\mathbf{l}$$

于是

$$\oint_l \mathbf{E}_i \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} + \oint_l (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

一般而言,感应电场的出现将引起导体中自由电荷的运动和积累 (例如导体表面积累自由电荷)。这样,将伴随有库仑电场强度 E_s ; 合成电场强度 E 为

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_s + \mathbf{E}_i$$

由于库仑电场具有无旋性,故

$$\oint_l \mathbf{E}_s \cdot d\mathbf{l} = 0$$

这样,合成电场强度 E 满足

$$\oint_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} + \oint_l (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

该式的微分形式是

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

在静止媒质中,媒质运动速度为零,即

$$\oint_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

该式的微分形式是

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

它是麦克斯韦方程组的一个方程。

(马信山)

dianci jianrong

电磁兼容 (electro-magnetic compatibility)

电气设备(包括电子设备)在它所处电磁环境中能令人满意地工作,且不对处于同一环境中的其他设备产生不允许的干扰的能力。如果一台电气设备当它被视作干扰源时只具有可容许的干扰发射,而当它被视作感受器时对于干扰只具有可容许的敏感度,则这台设备被认为具有满意的电磁兼容性。

电磁干扰的危害 电磁干扰会引起以下四类后果:①在电磁干扰作用下,电气设备性能暂时减弱,干扰一旦消除,设备性能恢复正常。如使电话声音不清晰的干扰,家用电器开关过程对收音机的干扰。②电磁干扰可使电气设备发生功能错误。如自动控制系统的错误动作。③强烈的电磁干扰会造成电气设备损坏。如电路板组件因静电放电而损坏,电气设备因雷闪时地电位升高而损坏等。④电磁能即存储在电磁场中的能量,会对人体产生危害。如较强的电磁辐射会使人感觉头晕、乏力等。

干扰源 按照干扰频率范围的不同,干扰源可分为三类:窄带干扰源、间歇宽带干扰源和瞬变宽带干扰源。属于窄带干扰源的有:通信发射机,用于工业、科研、医学和家用的高频发生器,通信接收器,显示屏设备,计算机系统,开关电源,电力线路干扰等。属于间歇宽带干扰源的有:汽车点火装置,气体放电灯,整流子电机,高压架空线的电晕等。属于瞬变宽带干扰源的有:静电放电,电感性负荷的切、合,网络中的瞬变过程,高电压试验技术和等离子体技术中的瞬变过程,雷闪电磁脉冲,核电磁脉冲等。

电磁干扰耦合方式 分传导耦合、电容耦合、磁耦合及辐射耦合四类。传导耦合包括:沿电源线或信号线传导的耦合,通过公共电源内阻的耦合,通过公共地线阻抗的耦合等。在两个具有不同电位的导体间会出现电容耦合。在两个或几个有电流流过的导线环路间会出现磁耦合。辐射耦合则是指干扰源发射的电磁能量以电磁波的形式,通过空间传播而作用于感受器上。

对电磁干扰的抑制和防护 应根据干扰源的性质和干扰耦合方式来确定抑制和防护电磁干扰的方法。可采用的方法有以下几类:①完善线路设计,合理布局。如使两个有电流流过的导线环路相互垂直;插件板上地线不过长;采用屏蔽电缆。②滤波。滤波能有效地

抑制传导干扰,将有用信号频谱以外的能量加以抑制。

③屏蔽。用屏蔽体将干扰源或感受器包封起来,切断干扰的耦合通道。④安装过电压泄放器。如利用压敏电阻、雪崩二极管、火花间隙、避雷器等来限制有害的电压升高。⑤周密设计接地系统。例如采用隔离变压器或光耦合器等方法来避免互有联系的电气设备通过各自的接地点而构成回路。

电力系统的电磁兼容性问题 电力系统内部和电力系统对外界都存在较严重的电磁兼容性问题。电力系统中的高压电源、电力电子装置、高压、超高压和特高压输电线路作为强电部分与电力系统内部及外部的通信、继电保护、计算机、电子设备等弱电部分存在着电磁干扰影响。如输电线路的电晕放电、污秽绝缘子表面的局部放电,会引起对通信和广播的无线电干扰及对电视接收机的电磁干扰。电力系统的工作电流和短路电流,对现场的弱电测试设备也会产生磁场干扰。为了避免或减小电磁干扰的影响,高压、超高压及特高压输电线路的设计,要符合有关干扰控制法规或线路环境走廊的规定。

参考书目

Schwab A. J. Elektromagnetische Vertraglichkeit.
Berlin: Springer-Verlag, 1990

(谈克雄)

dianci pingbi

电磁屏蔽 (electromagnetic shielding)

排除或抑制外界电磁场与电工设备之间相互干扰的措施。它包括静电屏蔽、静磁屏蔽与时变电磁场屏蔽。通常讲的电磁屏蔽多指时变电磁场屏蔽。

静电屏蔽 排除或抑制外界静电场与电工设备之间相互干扰的措施。例如用接地的封闭金属壳将设备罩起来。如图1所示,当接地的金属导体壳2完全包围了带电导体1但又互相绝缘时,导体1发出的电力线不能穿过导体2,使导体壳里面的导体1与其外面的导体3之间无静电感应现象。此时称导体2起了屏蔽作用。这样,凡希望不影响外界的带电体或希望不受外界静电场影响的物体,均可用一个接地的金属壳罩起来。该壳称为屏蔽装置。如果金属壳上有孔或缝,也会有一定的屏蔽作用。常利用接地的仪器金属外壳,作为电子仪器的屏蔽装置,使其免受静电干扰。测量仪器中的屏蔽线,则是在导线绝缘外包有一层金

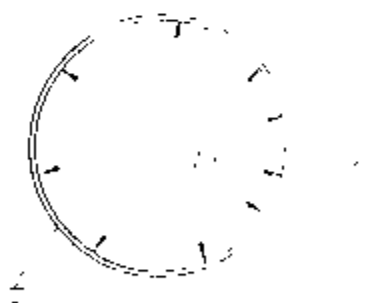


图1 静电屏蔽作用

属丝网作为屏蔽装置。使用屏蔽装置时,屏蔽装置需接地或接指定的固定等电位点。仪器内电源变压器的一次绕组与二次绕组之间,常安放不闭合的金属薄片或者绕一层漆包线并接地作为屏蔽装置。

静磁屏蔽 排除或抑制外界静磁场(包括稳恒电流的磁场)与电气设备之间相互干扰的措施,例如常使用具有高磁导率的铁磁材料制成的空腔壳将设备罩起来。该壳称为“磁屏”,它可以是全封闭的或近于封闭的。外界干扰磁场的磁感应线在磁屏的外表面处发生

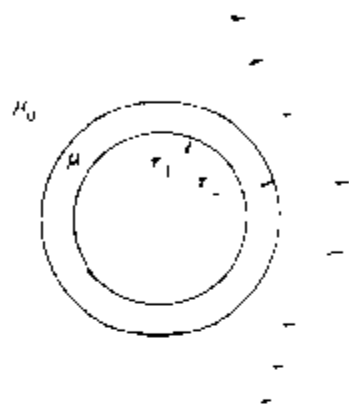


图2 长圆铁管磁屏蔽作用

强烈折射,磁感应线大部分通过磁屏,而腔内的磁感应线大为减少,磁场强度显著下降,达到了抑制外界磁场干扰的目的(见图2)。屏蔽的效果可用屏蔽系数 k 来表示。它的定义为腔内磁场强度 H_1 与外部所加均匀磁场强度 H_0 的比值,即 $k = H_1/H_0$ 。 k 值愈小,表示屏蔽效果愈大。长圆铁管中段处的屏蔽系数 k 为

$$k \approx \frac{4}{\mu_r(1 - r_1^2/r_2^2)} \quad (\text{当 } \mu_r \gg 1 \text{ 时})$$

式中 r_1 和 r_2 分别为圆管的内半径和外半径(见图2), μ_r 为铁管的相对磁导率。该式成立的条件是 $\mu_r \gg 1$ 。显然, μ_r 越大,磁屏的厚度越大,则 k 值越小,即屏蔽效果越好。为了获得更好的屏蔽效果,电工中常采用多层磁屏。

时变电磁场屏蔽 排除或抑制外界时变电磁场与电工设备之间相互干扰的措施。例如常使用金属制成的空腔壳将设备罩起来。由于金属为良导体,能使电磁波急剧衰减,故导体壳有阻止外界时变电磁场透入金属壳内的作用。例如在收音机中,用铝壳罩在中周线圈的外面,使它不受外界高频电磁场的干扰以避免杂音。又例如在阴极射线示波器中,通常用铁皮包着示波管,使电子射线的扫描不受示波器中杂散电磁场的影响;同时示波器外壳使用铁皮制成,使杂散电磁场难以透出外壳去影响外部其他设备。对于正弦时变电磁场,屏蔽层的厚度一般须接近或大于电磁波的波长 λ ,

$$\lambda = 2\pi d, \quad d = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\gamma}}, \quad \omega = 2\pi f$$

式中 d 为透入深度; ω 和 f 分别为正弦时变电磁场的角频率和频率; μ 和 γ 分别为金属壳的磁导率和电导率。随着频率的增加,波长与透入深度将变小(见趋肤效应),从而屏蔽层的厚度可以相应地减小。

(马信山)

diandao

电导 (conductance) 见电阻。

diandaolu

电导率 (conductivity) 见电阻率。

diandongshi

电动势 (electromotive force) 沿一路径移动单位正电荷,非库仑电场对电荷所作的功。电动势的单位是伏特(V)。直流电源内部,存在着非库仑电场 E' ,它能将其他形式能量转换为电能。电动势 $e = \int_l E' \cdot dl$, dl 是路径上的长度元。若选 l 为沿电源内部由负极至正极的路径,则 e 也是表征电源提供电能强弱的一个物理量。

日常所用的电源,如电池,就是由化学能转换成电能的电源,使电池的两电极之间出现恒定的直流电动势。发电机则是把机械能转换成电能的电源,它的电动势是发电机的转子旋转后,通过电磁感应而产生的。两种不同金属互相接触,它们之间会产生接触电动势。金属可以排成一个序列(铝、锌、……、金、铂),这个序列中任一种金属与排在它后面的金属两端出现电动势,可以用金属能级理论来解释。两种不同的金属组成闭合回路,它们的两个连接端点如处于不同的温度 T_1 、 T_2 状态,则会产生温差电动势 $e_T = \alpha_T(T_1 - T_2)$, α_T 称为温差电动势率。不过后两种电动势数值很小。温差电动势效应既可以用来作为小型电源,也可用来测量温度,这种温度计叫热电偶式温度计。半导体材料吸收可见光线产生光电动势,利用光电效应可检测辐射率制成太阳能发电装置。晶体受到机械应力也会产生电动势,这种压电效应被应用于晶体话筒或其他传感器中。

(方正翔)

diangan

电感 (inductance) 描述由于线圈电流变化,在本线圈中或在另一线圈中引起感应电动势效应的电路参数。电感是自感和互感的总称。在国际单位制(SI)中,电感的单位是亨利(H)。提供电感的器件称为电感器。

自感 一个通有电流为 I 的线圈(成回路,回路可视作一匝线圈),其各匝交链的磁通量的总和称作该线圈的磁链 ψ 。如果各线匝交链的磁通量都是 Φ ,线圈的匝数为 N ,则线圈的磁链 $\psi = N\Phi$ 。线圈电流 I 随时间变化时,磁链 ψ 也随时间变化。根据电磁感应定律(见电磁感应),在线圈中将感生自感电动势 e_L ,

其值为

$$e_L = - d\psi/dt$$

定义线圈的自感 L 为自感电动势 e_L 和电流的时间导数 dI/dt 的比值并冠以负号, 即

$$L = - e_L / \frac{dI}{dt}$$

以上二式中, ψ 和 e_L 的正方向, 以及 ψ 和 I 的正方向都符合右手螺旋规则。已知电感 L , 就可以由 dI/dt 计算自感电动势。

线性磁媒质下的自感 若线圈放在线性磁媒质中并通以恒定电流 I , 则恒定磁链 ψ 和 I 成正比。比例系数 L_s 是正常数, 称静态自感, 其值为

$$L_s = \psi/I$$

若电流是时变的, 但其变化率较低时, 例如电流 I 是频率较低的正弦电流时, $\psi = L_s I$ 一式仍成立。这时, 自感 L 和静态自感 L_s 相等, 它是正常数。

非线性磁媒质下的自感 若线圈附近有非线性磁媒质(一般为铁磁物质), 当线圈中通以恒定电流 I 时, ψ 和 I 不成正比, 静态电感 L_s 不是常数, 而是 I 的函数。这时, 自感 L 和静态电感不一致。在指定的恒定电流值下, 定义磁链的增量 $d\psi$ 对电流增量 dI 的比值, 称为动态自感 L_d , 其值为

$$L_d = d\psi/dI$$

L_d 不是常数, 而是电流 I 的函数。若电流是时变的, 但其变化率较低时, $L_d = d\psi/dI$ 一式仍成立。这时, 自感 L 和动态电感 L_d 相等, 自感电动势可由 L_d 计算: $e_L = -L_d (dI/dt)$ 。

线性磁媒质下四种自感计算公式 从工程观点看, 除铁磁材料以外的媒质可认为是线性磁媒质, 它们的磁导率近似等于真空磁导率 μ_0 。置于这种媒质中的线圈的自感, 只和线圈及其匝导体的形状、尺寸有关, 和电流的量值无关。四种几何形状简单的线圈或回路的自感 L 的计算公式如下:

(1) 长螺线管的自感(忽略端部效应和线匝径向尺寸)

$$L = \mu_0 N^2 S / l$$

式中 l 为螺线管的长度; S 为螺线管的截面积; N 为总匝数。

(2) 无磁芯环形密绕线圈的自感(环的截面为正方形, 环的平均半径为 R)

$$L = \frac{\mu_0 N^2 b}{2\pi} \left(\ln \frac{2R+b}{2R-b} \right)$$

式中 b 为正方形截面的边长; N 为总匝数。若 $R \gg b$, 则近似有 $L \approx \mu_0 N^2 b^2 / 2\pi R$, 形式上与长螺线管自感计算公式相同。

(3) 同轴电缆的自感(忽略端部效应)

$$L = L_i + L_o = \frac{\mu_0 l}{8\pi} + \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R_1}$$

式中 R_1 、 R_2 分别为同轴电缆内外导体的半径; l 为电缆长度; L_i 和 L_o 分别称为同轴电缆的内自感和外自感, 其中内自感 L_i 的值仅与电缆内导体的长度有关, 而与其半径无关。

(4) 二线传输线的自感(忽略端部效应)

$$L = L_i + L_o = \frac{\mu_0 l}{4\pi} + \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln \frac{D-R}{R}$$

式中 R 为两导线的半径; l 为传输线长度; D 为两导线轴线间距离。

互感 设线性磁媒质中有两个相邻的线圈。线圈 1 中有电流 I_1 , I_1 产生的与线圈 2 交链的那部分磁通量形成互感磁链 ψ_{21} 。电流 I_1 随时间变化时, ψ_{21} 也随之变化; 由电磁感应定律, 线圈 2 中将出现互感电动势 e_{M2}

$$e_{M2} = - \frac{d\psi_{21}}{dt}$$

定义线圈 1 对线圈 2 的互感 M_{21} 为

$$M_{21} = - \frac{e_{M2}}{dI_1/dt}$$

或

$$e_{M2} = - M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

类似的, 若线圈 2 中有电流 I_2 , 它产生互感磁链 ψ_{12} 与线圈 1 交链。 I_2 变化时, 线圈 1 中出现互感电动势 e_{M1}

$$e_{M1} = - M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

式中 M_{12} 称线圈 2 对线圈 1 的互感。上式是 M_{12} 的定义式。

若电流 I_1 是恒定电流, 或 I_1 是变化率较低的时变电流, 互感磁链 ψ_{12} 和 I_1 成正比, 此比例系数(正常数)即线圈 1 对线圈 2 的互感 M_{21} , 且

$$\psi_{21} = M_{21} I_1$$

类似的, 若电流 I_2 是恒定电流或变化率较低的时变电流, ψ_{12} 和 I_2 成正比, 比例系数即线圈 2 对线圈 1 的互感 M_{12} , 且

$$\psi_{12} = M_{12} I_2$$

理论证明, $M_{12} = M_{21}$, 用 M 代表它们, 则

$$M = \frac{\psi_{21}}{I_1} = \frac{\psi_{12}}{I_2}$$

线圈 1、2 中同时通以时变电流, 它们分别是 I_1 、 I_2 。线圈中的感应电动势 e_1 、 e_2 是自感电动势和互感电动势之和

$$e_1 = - L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt}$$

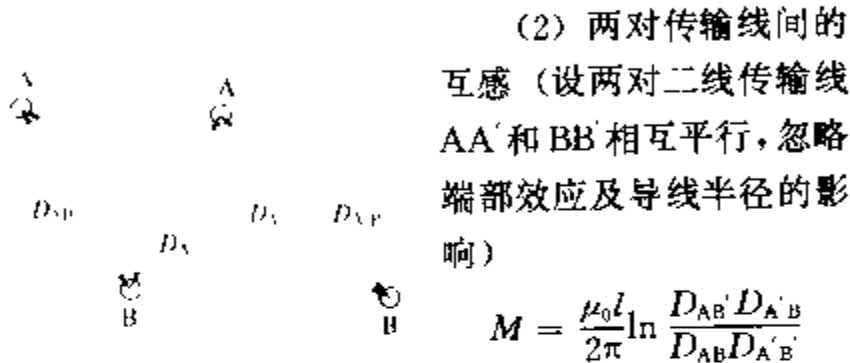
$$e_2 = -L_2 \frac{dI_2}{dt} - M \frac{dI_1}{dt}$$

线性磁媒质下二种互感计算公式 互感 M 不仅和线圈及其导体的形状、尺寸、真空磁导率 μ_0 有关, 还和两线圈的相互位置有关。

(1) 两同轴长螺线管间的互感 (忽略端部效应, 近似认为两螺线管半径为同一数值 R , 设两螺线管长度分别为 l_1 和 l_2 , 且 $l_1 > l_2$)

$$M = \frac{\mu_0 \pi R^2 N_1 N_2}{l_1}$$

式中 N_1 , N_2 分别为两螺线管的匝数。



(2) 两对传输线间的互感 (设两对二线传输线 AA' 和 BB' 相互平行, 忽略端部效应及导线半径的影响)

$$M = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \frac{D_{AB'} D_{A'B}}{D_{AB} D_{A'B'}}$$

两对平行的传输线 式中 $D_{AB'}$, $D_{A'B}$, D_{AB} , $D_{A'B'}$ 分别为两对传输线间相应导线间的距离, 如图示, l 为传输线长度。

三相制均衡输电线的电感 三根输电线之间有互感。在采用三相输电线换位技术后, 各相均衡。在考虑了自感磁链和互感磁链的效应后, 可得每一相输电线单位长度的等效电感 L 为

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{D}{R} + \frac{1}{4} \right)$$

式中 $D = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{CA}}$ (D_{AB} , D_{BC} , D_{CA} 分别为相应相线间的距离) 称几何平均距离; R 为导线半径。

线性磁媒质下磁场能量计算公式 可分如下三种情况。

单个载流线圈情况 线圈中通以电流 I 时, 在空间建立磁场。磁场能量 W_m 按下式计算

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2$$

式中 L 是线圈的自感。切断电源时, 磁场能量必须释放, 此时伴生感应电动势。切断电源过程中, 开关触头处常见到的电弧就是这感应电动势产生的效应, 维持电弧燃烧的能量来源于正在衰减的磁场能量。

两个载流线圈的情况 磁场能量 W_m 是

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 + M I_1 I_2$$

式中 L_1 , L_2 分别是线圈 1、2 的自感; M 是两线圈间的互感; I_1 , I_2 分别是线圈 1、2 中的电流。

几个载流线圈的情况 磁场能量 W_m 是

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n L_k I_k^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \sum_{h=1}^n M_{kh} I_k I_h$$

式中 L_k , I_k 分别是第 k 个线圈的自感和线圈电流, M_{kh} 是第 k 个线圈和第 h 个线圈之间的互感。

(倪光正)

diangan celiang

电感测量 (inductance measurement)

基本电参数电感——自感或互感的测量。电感的单位为亨利 (H)。在电工与电子技术中, 常用导线绕成各种形状的线圈, 以获得较集中的磁场, 制成具有一定电感值的电感器。为进一步增强磁场、缩小线圈尺寸, 有时还在线圈内放置铁磁物质。由于导线电阻和铁芯中有功率损耗, 因此线圈的等值电路为一电感和电阻的串联电路。电感的测量分为自感测量及互感测量。

自感测量 常用的方法有: 冲击法、三表法、电桥法和谐振法等。

冲击法 用冲击检流计间接测量自感的方法。原理接线如图 1(a) 所示, 所应用的测量仪表为直流电流表及冲击检流计。对被测线圈 L 通入直流电流 I , 将开关 S 由位置 1 迅速投向位置 2, 线圈中磁场储能通过检流计泄放, 泄放的电荷 Q 由检流计读出。自感 L 可由电荷 Q 、电流 I 及放电回路的总电阻 R (包括线圈电阻 r 、检流计的内阻等) 按公式 $L = QR/I$ 计算得到。

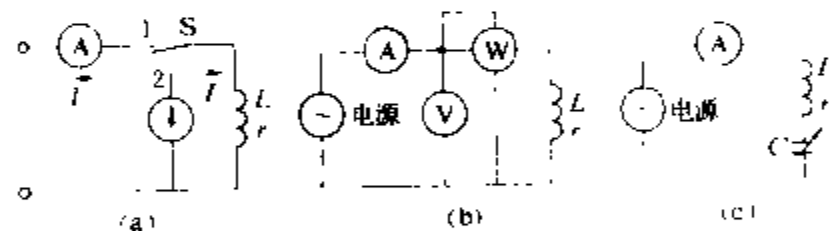


图 1 自感测量

(a) 冲击法; (b) 三表法; (c) 谐振法

三表法 用交流电压表、电流表、功率表来测量自感的方法。原理接线如图 1(b) 所示, 图中 V 、 A 、 W 分别为交流电压表、电流表、功率表。自感 L 可由三表分别测得的 U 、 I 、 P 值以及已知的电源的频率 f , 按

公式 $L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}$ 计算得到。如 $P \approx 0$, 电阻 r 可忽略时, 则自感 L 可只由 U 、 I 值, 按公式 $L = \frac{U}{2\pi f I}$ 计算得到。

电桥法 应用电桥测量自感的方法 (见交流电桥)。

谐振法 由电感、电容发生谐振的条件来测量自感的方法。原理接线如图 1(c) 所示, 图中 C 为标准可变电容器。调节 C , 使电流表的指示最大, 此时电路处

于串联谐振状态。自感 L 可由 C 值及电源频率 f , 按公式 $L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$ 计算得到。

互感测量 常用的方法有: 冲击法、伏安表法、正反串接法和坎贝尔桥法等。

冲击法 用冲击检流计间接测量互感的方法。原理接线如图 2(a) 所示。对一个线圈通入直流电流 I , 将开关 S 由位置 1 迅速投向位置 2, 线圈磁场储能通过检流计泄放。互感 M 可由泄放电荷 Q , 电流 I 及检流计回路的总电阻 R , 按公式 $M = QR/I$ 计算得到。

伏安表法 用交流电压表、电流表来测量互感的方法。原理接线如图 2(b) 所示。互感 M 可由两表分别测得的 U 、 I 值及电源频率 f , 按公式 $M = \frac{U}{2\pi f I}$ 计算得到。

正反串联法 将被测两线圈正向和反向串联间接测出互感的方法。设两线圈的自感分别为 L_1 、 L_2 , 互感为 M , 则两线圈正向和反向串联时的等值电感分别为 $L_p = L_1 + L_2 + 2M$, $L_s = L_1 + L_2 - 2M$ 。互感可由测得的 L_p 、 L_s 值, 按公式 $M = (L_p - L_s) / 4$ 计算得到。

坎贝尔桥法 将互感线圈与可变标准电容器按图 2(c) 接线来测量互感的方法。调节 C 使检测仪表指零。互感 M 可由 C 值及已知的电源频率 f , 按公式 $M = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$ 计算得到。

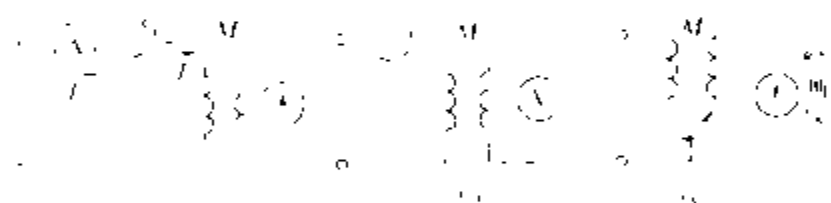


图 2 互感测量

(a) 冲击法; (b) 伏安表法; (c) 坎贝尔桥法

(谈克雄)

dianganqi

电感器 (inductor) 见电感和标准电感器。

diangong cailiao

电工材料 (electrical engineering materials)

用于电工领域中的各类材料的总称。根据它们的电磁特性可分为绝缘材料、半导体材料、导电材料和磁性材料四大类。此外, 还包括一些结构材料。

绝缘材料 指电阻率很高在 $10^9 \sim 10^{19} \Omega \cdot m$ 范围内用以限制传导电流使它按一定通道流动的材料。电介质则是在电场中能极化的材料, 常用于提高电容器的容量。电介质多数是优良的绝缘材料。绝缘材料的载

流于主要为正、负离子, 其电阻率随温度上升而呈指数式下降。绝缘材料种类繁多, 可分气态电介质、液态电介质和固态电介质三类。

气态电介质 常用的气态电介质有空气、氮气、六氟化硫等。一般气体电介质除介电强度较低外, 其他介电性能十分优良; 而六氟化硫则具有较高的介电强度, 现广泛用于封闭式组合电器中。

液态电介质 常用的有矿物油、合成油如硅油、十二烷基苯、聚异丁烯、异丙基联苯等, 在电工设备中起绝缘、冷却、浸渍填充、灭弧等作用。液体电介质要求在电场及高温作用下稳定性好, 闪点高, 凝固点低, 无毒。气体、液体有流动性, 击穿后能自愈, 但不能单独作介质用, 必须与固体联合使用, 以固体作支撑。

固态电介质 可分无机和有机两大类。电工中常用的无机绝缘材料有电瓷、云母、玻璃等。从组成来看, 无机材料主要由硅、硼及多种金属氧化物组成, 以离子型结构为主, 具有脆性, 耐热性高, 一般工作温度在 180°C 以上, 稳定性、耐大气老化性、耐化学药品性及长期在电场作用下的耐老化性均好, 但耐冲击强度、抗张强度低。有机绝缘材料包括塑料、橡胶、纤维、油漆、电工薄膜、绝缘浸渍纤维制品、复合制品、胶粘带和层压制品等, 有机绝缘材料一般为高分子聚合物, 平均分子量在 $10^3 \sim 10^6$ 之间, 其耐热性通常低于无机材料; 但含有苯环、杂环和硅、钛、氟等元素的高聚物的耐热性则高于一般线链形高聚物, 如聚四氟乙烯、聚酰亚胺、硅有机聚合物等, 工作温度可达 180°C 及以上。

固体绝缘材料中的天然材料由于产量有限, 性能又不能满足多方面的要求, 现在正逐步被人工合成材料所取代。如耐高温、耐辐照、耐火、阻燃、高介电强度的合成高分子绝缘材料将是今后发展的重点。

半导体材料 从导电性来看, 其电阻率介于绝缘材料与导电材料之间, 为 $10^{-6} \sim 10^8 \Omega \cdot m$ 。半导体的载流子为电子、空穴, 其电阻率随温度上升而下降。绝大多数的半导体是固体而且是单晶体。纯净的半导体材料由于导电性能很差, 没有实用价值, 只有由掺入不同浓度的微量杂质来控制其导电性, 才使半导体材料能制成各种器件, 从而获得广泛应用。以硅为例, 在其中掺入五价元素磷、砷、锑、铋等可制成 N 型半导体, 主要靠电子导电; 如在硅中掺入三价元素铝、硼、镓、铟等可制成 P 型半导体, 主要靠空穴导电。利用 N 型 P 型半导体的不同组合, 可获得整流和放大作用, 制造二极管、三极管、稳压管、晶闸管用。非晶态半导体在静电复印感光膜及各种传感器方面的应用也日益广泛。

半导体材料的种类很多, 一般可分为元素半导体如硅、锗; 化合物半导体如砷化镓、硫化镉、氧化锌等;

固溶体半导体如砷化镓；有机半导体如蒽、萘；玻璃半导体等五类。

利用半导体材料的电导率随外界作用因素如光、热、电压等变化非常敏感的特性，可获得光电、热敏、压敏（对机械压力敏感）等效应而制成光敏电阻、热敏电阻、压敏电阻等。

氧化锌压敏半导体在电力系统中作过电压保护用，发展很快，而砷化镓在发展超高速半导体集成电路中将起着至关重要的作用。

导电材料 指允许电流持续流通的材料。其电阻率很低，在 $10^{-6} \Omega \cdot m$ 以下。导电材料的载流子有两类：一类是自由电子，如铜、铝等金属材料，其电阻率一般随温度上升而上升；另一类是离子，如酸、碱及盐类的溶液。电工中应用的以金属导电材料为主。要求材料有高的电导率、优良的机械性能、耐大气腐蚀性及好的机械加工性能。

导电材料除常用的高电导率的铜、铝外，也包括高电阻率的铜合金、镍铬合金以及能导电的石墨等。铜、铝主要用于电线电缆的载流芯，电机、变压器的绕组线，其他还有在开关设备中供电触头用的银、铜、铝复合材料。高电阻率导电材料主要用作制造各种电阻元件，如调节元件、电位器、传感元件，要求抗氧化和耐腐蚀性好，温度系数小，较高的机械强度，还可供发热元件用，要求材料在高温下有好的抗氧化能力，高强度及电阻率高，温度系数小。石墨能导电，有较高的电阻率，熔点高，润滑性好，电工方面用它制作电机的电刷，弧光灯的电极等。

超导现象是本世纪初发现的，即某些材料当温度降到接近绝对零度的某一临界温度时，其电阻突然降为零，这种电阻消失的现象称为超导电性。具有超导电性的材料称超导体，超导态时的载流子为电子对。超导体有元素超导体、合金超导体和化合物超导体三类，常用的有铌、铌、锡、铌—钛合金、铌—锆合金、锡化三铌 (Nb_3Sn)、镓化三铌 (V_3Ga)。超导体可供超导磁体、超导电机、超导电缆等应用。超导材料达到超导态的温度一般很低，在液氮温度范围内。近年来发现了铌、钒、铜、氧陶瓷超导体在液氮温度 (77 K) 附近即具有超导电性，这是超导技术的一大飞跃，超导材料的发展及其应用现在正处在深入研究开发阶段。

磁性材料 指具有铁磁性能的材料。根据组成可分铁磁性材料和铁氧体两类。前者为金属，后者由氧化铁和其他金属氧化物的粉末压制成型。根据矫顽力大小则可分为软磁材料和硬磁材料。

软磁材料 矫顽力低，磁滞回线窄，故磁滞损耗小，磁导率高，在较低的外磁场作用下就能产生高的磁感应强度，当外磁场除去后，磁性基本消失。电机、变

压器、继电器等电器中应用的硅钢片、铁镍合金、铁铝合金、软磁铁氧体等即为软磁材料。

硬磁材料 矫顽力高、磁滞回线宽、磁滞损耗大，将外加的磁场去掉后，仍能在长时间内稳定地保持很强的磁性。微电机、扬声器、精密仪表等应用的铝镍钴铁系材料及硬磁铁氧体、稀土钴等都是硬磁材料。

近代高频技术发展十分迅速，上述铁磁性材料由于电阻率低，高频下涡流损耗太大，已不能适应需要。铁氧体的导电性能属半导体型，电阻率比纯金属磁性材料要高得多，因此在高频磁场中涡流损耗小，适用于高频电工设备。具有矩形磁滞回线的铁氧体可供电子计算机的记忆元件和自动控制中的开关元件应用。

有的磁性材料在外磁场作用下有磁致伸缩现象，可用来制造超声元件和机械滤波器等。

(吴南屏)

diangong yiqi yibiao jian ding guicheng

电工仪器仪表检定规程 (Verification regulation of electrical instruments)

为进行计量检定，评定计量器具、测量仪器仪表性能，判断其是否合格而制定的法定性文件。它属于计量技术法规，是计量检定人员对计量器具与测量仪器仪表进行检定，计量监督人员对计量器具与测量仪器仪表进行监督管理的重要法定依据。

计量检定规程的主要内容包括技术要求、检定条件、检定项目、检定方法、检定数据处理和检定周期等规定。

根据中国计量法的规定，计量检定规程分为：国家计量检定规程、部门计量检定规程和地方计量检定规程三种。国家计量检定规程由国务院计量行政部门制定，在全国范围内施行，代号是 JJG，例如 JJG124- $\times\times$ 《电流表、电压表及功率表检定规程》。其中“ $\times\times$ ”代表公元纪年的末两位数字（下同），用于表示规程批准的年份；数字“124”代表该规程的序号。没有国家计量检定规程的，国务院各部门和各省、自治区、直辖市可以制定本部门或本地方的计量检定规程。代号也是 JJG，但在括号中注明地方名称简称或部门名称，例如 JJG（京）4—82、JJG（能源）1—89。当以计量检定规程为处理计量纠纷的依据时，国家计量检定规程的效力高于地方或部门计量检定规程。

在苏联，自 70 年代以来，国家计量检定规程由国家标准委员会制定，作为法定文件在全国范围内施行。例如 IOCT8·259— $\times\times$ 是交流电能表检定规程。

在美、日和西欧各国，法制计量管理基本局限于商业用测量仪器，电表方面没有全国统一的检定规程。但

各国都有电表的国家标准。在标准中,对电表的性能、技术条件、试验方法等都有具体规定。电测指示仪表类中,美国标准代号是 ANSIC39—19××;英国是 BS89—19××;日本是 JISC1102—19××。

在与计量工作有关的国际组织中,从事标准化工作的有:国际法制计量组织(OIML)、国际计量局(BIPM)、国际电工委员会(IEC)和国际标准化组织(ISO)。IEC和ISO从事标准化工作;BIPM为国际单位制(SI)建立实验基础;OIML制订有关国际性计量技术法规和组织检定方法的国际交流。IEC制订的电表推荐标准(出版物)中,例如 IEC pub·SI(指示电表)既有对产品性能的要求,也规定了试验方法。

(李 谦)

dianhe

电荷 (electric charge) 构成物质基本粒子的一种电性质。古代希腊人就发现有些物体如琥珀和丝绒相互摩擦后能吸引轻小纸片。我国古代也有“琥珀掇芥”之说。这是由于这两种物体摩擦后带有电荷。电荷有两种,同性相斥,异性相吸。后来,B·富兰克林(Benjamin Franklin)首先以正、负电荷的名称来区分这两种电荷。带电体所带电荷的电量,在SI制中的单位是库仑(C)。

电荷转移 近代实验证明,自然界中物质的原子由带负电荷的电子和带正电荷的原子核组成,通常物体内正、负电荷的数量相等,宏观上不呈现带电性。当受到外界某种作用时,例如机械摩擦或化学分解,物体内的电荷失去平衡而转移,使物体带有正或负的电荷。现代物理实验又发现电荷总是以一个基本单元的整数倍出现,这个特性叫做电荷的量子性。电荷的基本单元是一个电子所带电量 e 的绝对值, $|e|=1.602\times 10^{-19}\text{C}$ 。电荷既不能凭空被创造,也不能凭空被消灭,电荷转移前后的总电量维持不变。这一规律叫做电荷守恒定律。它是自然界的一个基本定律。

电荷密度 尽管电荷具有量子性,但在研究宏观电磁现象时,可不考虑其微观结构。从统计平均效应出发,认为电荷是连续分布在带电体中。定义电荷体密度 ρ 或电荷面密度 σ 分别为 $\rho=\lim_{\Delta V\rightarrow 0}\frac{\Delta q}{\Delta V}$ 或 $\sigma=\lim_{\Delta S\rightarrow 0}\frac{\Delta q}{\Delta S}$,这时 ΔV 和 ΔS 分别代表物理无限小的体积元和面积元,其中所带的电量 Δq 仍含有大量电荷基本单元。当带电体本身的线度比所研究的问题中涉及的距离小很多时,又可简化处理为点电荷或线电荷分布,并以此来进行分析计算。

(方正翔)

dianhuaxue jichuan

电化学击穿 (electrochemical breakdown)

在电场、温度等因素作用下,固体电介质因缓慢的化学变化,而引起其电气性能逐渐劣化,最终由绝缘状态突变为良导电状态的过程。

电化学击穿经历两个过程,首先是电介质老化,即固体电介质因发生化学变化而引起的电气绝缘性能劣化,随即是与老化有关的击穿。

固体电介质发生缓慢化学变化的原因是多种多样的。直流电压下,固体电介质因离子电导而发生电解过程,结果在电极附近形成导电的金属树枝状物,甚至从一个电极伸展到另一个电极;在电场,特别是交变电场作用下,固体电介质内部的气泡中,或不同固体电介质之间的气体或油隙中,会发生局部放电;与固体电介质接触的电极边缘场强较强的局部区域内如有气体或液体电介质,也会发生局部放电,而局部放电的长期存在会使固体电介质逐渐损坏;空气中放电所形成的臭氧、氮的氧化物等化学性质活泼的物质,会使固体电介质发生化学变化;对于有机固体电介质,在电极上尖端处或微小气隙处,会发生树枝状放电,并留下碳化痕迹。

电场越强,温度越高,电压作用时间越长,则固体电介质的化学变化进行得越强烈,其性能的劣化也越严重。

固体电介质的化学变化通常导致电导增大,致使其温度上升,因而电化学击穿的最终形式常是热击穿。

(朱德恒)

dianjiezhi

电介质 (dielectrics) 其基本电磁性能是在电场作用下能被极化的一种物质。M·法拉第(Michael Faraday)最早给出电介质的定义为“被电力线所横贯地作用着的那种物质”,也就是说,电介质内部的电场强度不等于零。电工中一般认为电阻率超过 $10^8\Omega\cdot\text{m}$ 的物质便归于电介质。

在20世纪30年代以前,电介质只是作为电气绝缘材料来应用,所以通常人们认为电介质就是绝缘体。其实,电介质除具有电气绝缘性能之外,在电场作用下的电极化是它的一个重要特性。随着科学技术的发展,发现某些固体电介质具有许多与极化有关的特殊性能,称为电介质的功能特性,例如电致伸缩、压电性(见压电材料)、热释电性(见热释电材料)、铁电性(见铁电材料)等,从而引起了广泛的研究和应用,使得电介质的范畴更扩大了。电介质不仅作为绝缘材料,而且作为功能材料被广泛地应用。

电介质分布极广,可以是气体(如空气、氢、六氟化硫等)、液体(如矿物油、合成油、纯水等)或固体

(如玻璃、陶瓷、云母、橡胶、塑料等)。无论哪一种电介质,都是由分子(原子或离子)组成,而它们又都是由带正电的原子核和围绕核的电子云所组成。根据分子中电荷分布的特性,电介质可以分为三类:非极性电介质、极性电介质和离子型电介质。

(1) 非极性电介质:没有电场时,其分子的正负电荷中心是相重合的。一般属于这一类介质的分子具有对称的结构,如相同原子组成双原子分子的气体(H_2 、 N_2 、 Cl_2 等)、烷系碳氢化合物、矿物绝缘油、石蜡、地蜡、聚乙烯、聚四氟乙烯等均属于非极性电介质。通常,非极性电介质的电容率不大, $\epsilon_r=2.0\sim 2.5$,体积电阻率较高。

(2) 极性电介质:没有电场时,其分子的正负电荷中心是不相重合的,即分子具有固有偶极矩。一般属于这一类介质的分子具有不对称的结构,如蓖麻油、松香、聚氯乙烯、纤维、酚醛树脂等均为极性电介质。极性电介质的电容率比非极性电介质的为高, $\epsilon_r=2.6\sim 80$,而体积电阻率的变化范围较大。

(3) 离子型电介质:与非极性电介质和极性电介质不同,离子型电介质是由正负离子组成,即存在于介质中的是离子而不是分子。属于这一类电介质的有石英、云母、无机玻璃、陶瓷及其他一些离子晶体电介质。这类电介质电容率的变化范围较大。大部分陶瓷介质的主晶相都是由较低电容率的离子晶体组成,相对电容率 $\epsilon_r=5\sim 10$,少数高价离子氧化物晶体介质的电容率很高,如金红石(TiO_2)的 $\epsilon_r=173$ (平行于C轴方向)。

(刘子玉 金维芳)

dianjiezhi daodian jili

电介质导电机理 (electrical conduction mechanism of dielectrics)

在恒定电场作用下,电介质中出现微小漏电流的规律和本质。电介质并非理想绝缘体,在电场作用下其中仍有极小的漏电流通过。物质的电导是物质中的可动的带电质点(载流子),在电场作用下定向迁移所形成。通常以电导率或电阻率来表征。物质的电导率 γ 与载流子的浓度(n)、带电电荷(q)及迁移率(μ)有关,其关系为

$$\gamma = qn\mu$$

在有多种载流子导电时

$$\gamma = \sum_{i=1}^n q_i n_i \mu_i$$

故电介质电导机理就在于搞清导电载流子的来源及其迁移方式。电介质通常处于高电阻绝缘状态,自由电子很少,主要导电载流子是离子。而按离子来源的不同可分为本征离子和杂质离子。本征离子由组成物质本体

的分子或晶格上的离子活化电离而形成;杂质离子由杂质电离所形成。通常在低温下为杂质离子电导,高温下才出现明显的本征离子电导。此外,在液体电介质中,由于带电胶体的存在会产生电泳电导。在高场强下,电介质中由于电子由电极注入和碰撞电离会产生电离电子而形成电子电导。载流子的迁移方式主要有两类:①漂移方式。气体电介质中的离子在电场作用下,在自由行程区间内受到定向加速,取得定向迁移速度,形成电导电流,这种迁移方式称为漂移方式。液体中电泳电导、固体中自由电子的迁移与此类似。②热跃迁方式。在液体和固体电介质中的离子,由于被周围分子成离子所形成的势阱所束缚而不能较自由地迁移,仅能在势阱中作热振动,当热振动能超过势阱才能发生跃迁。外电场可以改变势垒的高度,因而形成非对称的跃迁,导致宏观上有部分载流子沿电场方向有定向的迁移。这种迁移方式称为热跃迁方式。其电导率与温度呈指数关系变化,温度上升电导率激烈增加。多数液体、而体电介质中的离子和电子以此热跃迁方式输运。根据电介质的组成、结构、以及温度、压力、电场的不同,电介质的导电机理还有所变化,特别是强电场下将有明显的电子电导和电离电流出现。

参考书目

陈季丹,刘子玉主编.电介质物理学.北京:机械工业出版社,1982

(徐传骧)

dianjiezhi jihua

电介质极化 (polarization of dielectrics)

在外电场作用下,电介质内部沿电场方向出现电偶极矩,电介质表面出现束缚电荷的现象。

根据极化的微观机理,电介质极化可以归结为四种基本形式:

(1) 在外电场作用下,电介质组成粒子(原子、离子或分子)中围绕原子核的电子云相对带正电的原子核所作的弹性位移而产生感应电偶极矩。由于两者的质量差别极大,这种极化称为电子位移极化。

(2) 在外电场作用下,构成分子的原子(或异号离子)之间发生相对弹性位移而产生感应电偶极矩,这种极化称为原子(或离子)位移极化。

(3) 在外电场作用下,电介质极性分子的固有电偶极矩沿电场方向转向而产生宏观的感应电偶极矩,这种极化称为转向极化。

(4) 电介质中的导电载流子在电场作用下的移动,可能被介质中的缺陷或不同介质的分界面所捕获,形成介质中电荷分布不均匀而产生宏观感应电偶极矩,这种极化称为空间电荷极化或夹层极化。

电介质的极化程度是用单位体积电介质内在电场方向的电偶极矩即极化强度矢量 P 来度量

$$P = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Sigma \mu}{\Delta V}$$

式中 $\Sigma \mu$ 是体积 ΔV 内在电场方向的感应电偶极矩的总和。在电场作用下,电介质表面束缚电荷的大小也反映电介质的极化程度,极化强度与介质表面束缚电荷面密度 σ' 的关系为

$$\sigma' = P_n = P \cos \theta$$

式中 P_n 为极化强度在介质表面法线方向的分量; θ 为表面法线与场强 E 的夹角。极化强度的单位是 C/m^2 。

描述电介质极化的宏观参数是电容率,也称介电常数。

(金维芳)

dianjiezhi laonua

电介质老化 (ageing of dielectrics) 电介

质受各种老化因素长期作用后发生的性能恶化现象。电介质老化中以有机电介质的老化问题最为突出。液体有机电介质老化时在表观上发生混浊、变色等;高分子有机电介质老化时在表观上发生变色、粉化、起泡、发粘、脆化、出现裂纹或裂缝、变形等。电力设备通常由结构材料、导电材料、磁性材料及有机电介质材料所制成,其中以有机电介质最容易发生老化甚至发生击穿或其他形式的破坏,直接影响电力设备运行的可靠性或寿命。因此,研究和防止电介质老化有着重大意义和实用价值。

多数情况下,电介质老化是由于电介质的化学结构发生了变化,即通过降解、氧化、交联等化学反应改变了电介质的组成和化学结构。但是也有仅仅是由于电介质的物理结构发生变化的情况,例如,电介质中所含的增塑剂不断挥发或电介质中的球晶不断长大,都会使电介质变硬、变脆,失去使用价值。

根据老化因素的不同,往往把电介质老化区分为热老化、电老化、机械老化和环境老化等。

热老化 在热的长期作用下发生的老化。热老化速度随温度升高而加速。热老化过程中,电介质性能发生不可逆劣化的主要原因是:在热的作用下,有机电介质发生了降解反应,其中包括使主链断链的解聚反应或无规断链反应和使侧基从主链上脱离的消去反应,从而产生大量低分子挥发物,并引起一系列更为复杂的反应。

通常所谓的热老化,实际上是指热氧化老化,即在热和氧协同长期作用下发生的老化。热氧化老化初期通常会出现过氧化氢物。过氧化氢分解产生自由基,然后引发出一系列氧化和断链化学反应,使分子量下降、

含氧基团浓度增加,并不断挥发掉低分子产物,结晶度也随之变化。

电老化 在强电场的长期作用下发生的老化。对于高电压设备的绝缘,电老化是不容忽视的。电老化大致分为无放电能老化和放电能老化两大类。

(1) 无放电能老化。包括:①因局部电流过大发生热不平衡而引起的老化;②因电化学过程使金属导体被腐蚀,其残留物在电介质中或表面形成导电痕迹使绝缘性能丧失而造成的老化。

(2) 放电能老化是电老化的主要形式。它是由于在放电过程中产生了以下加速老化的因素使电介质发生的老化:热、紫外线辐射、活性粒子(包括高能电子、原子态的氧或氮、激发态的氧分子或氮分子,以及氧或氮的分子离子等)和臭氧、二氧化氮等等。放电老化与放电强度有密切关系。电晕放电时放电强度最低,其老化主要由放电及空气中的氧的协同作用所致;火花放电时放电强度较强,常作用于电介质的表面产生碳化导电痕迹(电痕化);电弧放电时放电强度最强,对电介质的破坏力最大,破坏速率也最高。在电介质的内部,在电场集中部位往往发展另一种形式的放电老化,即电树枝化,包括水树枝化和化学树枝化。其名称与放电通道痕迹的形状有关。

机械老化 电介质受到多次反复施加的应力或应变后,力学性能发生不可逆降低直到断裂的现象,即所谓机械疲劳。对于大容量电力设备特别是发电机组,疲劳现象是不容忽视的。疲劳主要是由于反复受力或反复变形时电介质中的分子链发生断裂,聚集态发生变化,导致产生裂纹甚至裂缝,直到断裂;其次是因为电介质力学损耗过大,发热严重导致热不平衡,直到在高温下被撕裂。

环境老化 在各种环境因素长期作用下发生的老化。其主要因素是自然环境因素。对电介质老化影响最大的环境因素有环境温度、湿度、太阳辐射、高能辐射、臭氧、工业有害气体、酸、碱、盐及其溶液、水、溶剂及油等。太阳辐射老化主要由波长低于 290 nm 的紫外线所引起,紫外线光子使电介质化学键断裂或使分子处于激发状态。氧能促进紫外线的辐照老化作用。臭氧老化主要因臭氧袭击电介质中的双键并使之断裂所致,存在放电、光化学烟雾污染的地区都要注意臭氧老化问题。化学老化是因电介质接触酸、碱、盐、水及溶剂等化学物质而被腐蚀所致,化学物质容易使电介质中的碳-杂原子键发生水解、酸解、胺解等降解反应。化学老化与化学物质在电介质中的扩散和渗透难易程度有密切关系。高能辐照老化是由 α 射线、 β 射线、X 射线等的高能粒子流的作用引起的,粒子能量可高达 $10^2 \sim 10^5$ eV,可引起电介质的降解、氧化等反应。在

原子能发电站、加速器、反应堆周围以及航天飞行器中
都应注意高能辐照老化问题。

由于老化中多个老化因素之间往往有相互作用，
因此，实际电介质老化往往不能用各个单一因素引起的
老化的简单综合来表示，而应同时考虑多个因素，即
所谓多因素老化。前面提到的热氧化老化就是多因素
老化实例之一。

(巫松楨)

diankang

电抗 (reactance) 见相量法。

dianli

电离 (ionization) 中性原子或分子转化为
带电的原子或分子(离子)的过程。也可延伸为已电离
的原子获得净增电荷量的过程。

当中性原子或分子从外界获得足够的能量，使某
个电子获得的能量足以克服原子核的引力而成为自由
电子，并留下带正电的离子时，就产生了电离。电离所
需的能量称为电离能或电离电位，单位相应为电子伏
特(eV)或伏特(V)。移去第二个电子所需的能量称
为第二电离能或第二电离电位。

强电磁辐射、电子束、离子束、中性粒子束、宇宙
射线、冲击波和高温等外界因素都会造成气体原子或
分子的电离。

按电离发生的机理可分为碰撞电离、光电离和热
电离。

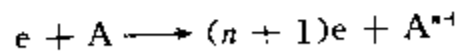
电离的逆过程是复合，即电子(或负离子)和正离
子碰撞后形成中性原子或分子的过程。

电离过程能产生带电粒子，是气体放电中最重要
的基本过程之一。

碰撞电离 具有足够能量的粒子(电子、离子、中
性粒子等)和中性原子或分子相碰撞，使后者得到的能
量大于电离能，形成电子和正离子对的电离过程。

粒子之间产生碰撞电离的概率用碰撞电离截面来
表示，单位为 m^2 。各种碰撞电离截面均可采用实验方
法来测定，也可用经典理论或量子力学理论计算。

由电子和中性原子或分子之间的碰撞面引起的电
离是最主要的一种碰撞电离，它可表示为



式中 e 表示电子； A 表示原子； $n=1, 2, 3, \dots$ 分别表
示一次、二次、三次……电离； A^{n+} 表示 n 次电离的正
离子。电子的碰撞截面，开始时随电子能量而增加，到
某一最大值后又逐渐下降，见图1。有时电子的能量不
足以直接电离原子，而是先把原子激励到某一亚稳态，
然后其他的电子和亚稳态的原子相碰撞面形成所谓的

分级电离。

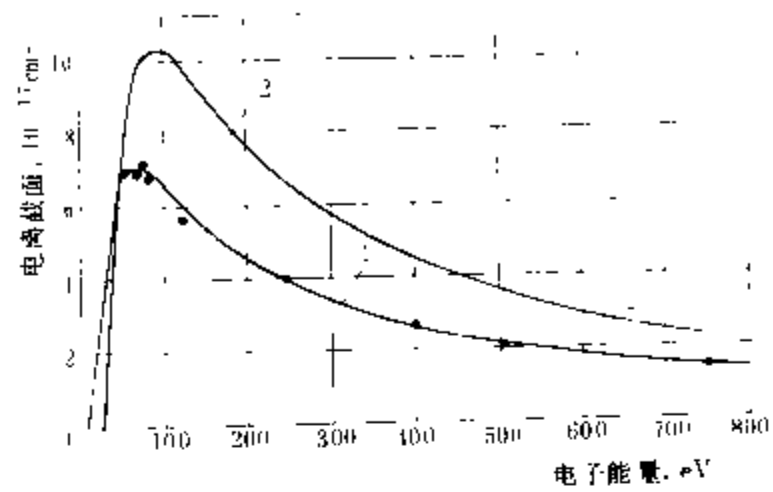


图1 电子碰撞引起的氢原子和氢分子的
电离截面
1—H; 2—H₂

当入射粒子的能量很高时，常常会发生多次电离
的现象($n \geq 2$)。例如图2所示的氩气中发生多次电离
的现象。

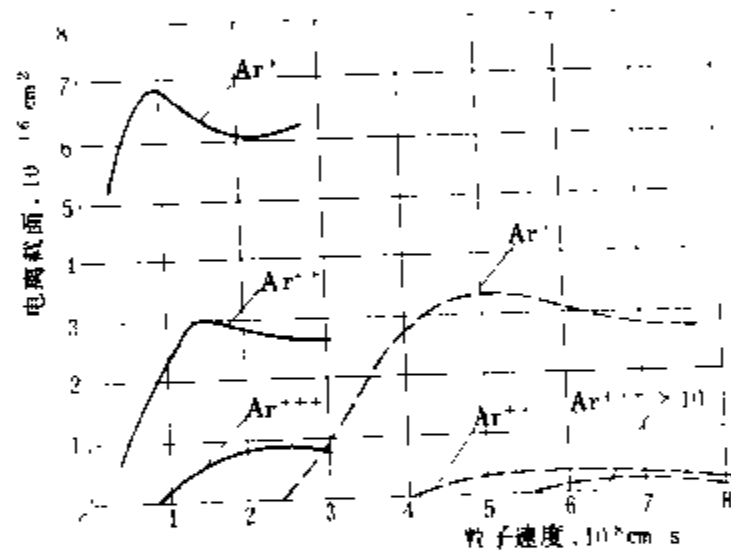


图2 氩气中多次电离的截面
实线—He⁺碰撞引起 Ar 原子的电离
虚线—电子碰撞引起 Ar 原子的电离

光电离 波长足够短的电磁辐射穿过气体时引起
的电离。单个光子的能量 $h\nu$ (h 为普朗克常数， ν 为光
频率) 等于或超过气体原子或分子的电离能 W_i ($h\nu \geq W_i$) 是发生光电离的条件。

大多数原子的电离能 W_i ，对应于紫外光谱区的光
子。光电离的概率用光电离截面来表示，单位为 m^2 。光
子能量接近阈值 W_i 时，截面突然上升；当光子能量再
增加时，截面又下降。

当单个光子能量不够时，往往可能发生双光子或
多光子电离。即第一个光子使原子跃迁到某个激励能
级，在没有去激励之前，另外的光子射入，补足电离所
需的能量引起电离。在强激光束的照射下，因为光通量
很高，易发生多光子电离。

紫外线、X 射线、 γ 射线，以及强激光等都会产生

光电离。光电离不仅发生于外界入射的光辐射,也发生于气体放电本身所产生的光辐射,光电离在气体放电的发展过程中起着重要作用。

热电离 气体加热到很高的温度时所引起的电离。在一定温度下,气体中各个分子的运动速度各异,其速度分布服从麦克斯韦分布,大多数气体分子的速度都在某个“最可几速度”附近,速度很高和很低的分子数均很少。在温度很高时,有少部分的分子具有很高的运动速度,其热运动的动能超过电离能时,则分子间的碰撞就会造成电离。此外,高温气体的热辐射会引起电离;热电离过程所产生的高能电子也会引起电离。

在高温气体中,一方面是电离的过程,另一方面是复合过程。在热力学平衡下,电离所产生的离子数应等于复合而消失的离子数,此时气体的电离度 $\alpha = n_i/n_0$

可用沙哈(Saha)公式表示: $\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} = \frac{4.9 \times 10^{-4}}{p} \frac{g_1}{g_0} T^{3/2} \times \exp\left(-\frac{W_i}{kT}\right)$, 式中 n_i 是离子的数密度; n_0 是电离前中性粒子的数密度; p 是气压(以多少个 133Pa 表示); T 是温度, K; W_i 是气体原子或分子的电离能,

eV; k 是玻尔兹曼常数, eV/k; g_1 和 g_0 分别为离子和原子的统计权重。

参考书目

杨津基. 气体放电. 北京: 科学出版社, 1983

(罗承沐)

dianli dianzi qijian

电力电子器件 (power electronics devices)

应用于电力电子学领域进行电能开关、控制和转换的功率半导体器件。电力电子学是电子学中涉及电力技术的部分。电力半导体器件是电力电子装置的核心。一种新器件的诞生往往使整个装置系统的面貌有很大的改观。电力电子学的几个发展阶段的特点见表 1。现代固态电力电子学始于 20 世纪 50 年代晶闸管的研制成功, 晶闸管 (3500 A/600 V 及 1000 A/12000 V) (注: 凡器件后括号内的数值是该器件目前的水平) 及其派生的双向晶闸管 (800 A/1200 V)、光控晶闸管 (3500 A/6000 V) 以及高频晶闸管 (1160 A/2000 V)、快速晶闸管 (1000 A/2500 V, $t_{on} < 30 \mu s$) 已传统地成为电力电子技术的主要关键器件, 但是由于这

表 1 电力电子学的发展

年 代	主 要 器 件	变 流 器 电 路	工 程 应 用
1900~1960	换相器式周期性机械、开关、汞弧阀、硒整流器、电子管、磁放大器	电网换相整流器和逆变器	整流器、蓄电池充电器、电解供电、直流机速度控制、高压直流 (HVDC)
1960~1980	硅二极管、晶闸管、双极晶体管	自换相斩波器和逆变器, 负载换相逆变器	DC-DC 变换、交流机速度控制、不间断电源 (UPS)、感应加热
1980~1990	双极晶体管、MOSFET、GTO、IGBT	较高频 PWM 电路和谐振电路	在网侧和负载侧获得正弦波电流和电压、无功补偿、有源电力滤波器
1990~2000	改进的功率器件、光触发、MOS 控制的厚膜技术、智能功率传感器		数字程序控制自调节、更多的变速交流传动、电网和负载的智能衔接

些器件只能用正门极脉冲电流使其导通, 而不能用负门极脉冲电流使其关断, 且其开关频率低, 一般只有几百赫, 故它们几十年来主要用于 50 Hz 可控整流系统。由它们构成的逆变器结构复杂庞大, 效率低, 产生的谐波污染严重, 形成对电力系统的“公害”。

80 年代以来, 由于大规模集成电路工艺与高压大电流功率器件制造工艺的发展, 两种工艺相结合研制生产出了多种新型可关断电力半导体器件, 它们大大地完善了现代电力电子技术。这些属于全控型的新型电力电子器件可分为双极型、单极型和混合型三大类。

双极型电力电子器件 主要品种有:

(1) 门极可关断晶闸管 (简称 GTO): GTO 是高压大电流双极型全控型器件 (5000A/4500V), 可用正门极脉冲电流导通, 亦可用负门极脉冲电流关断, 但其关断增益很差, 一般为 4 或 5, 由于存在关断损耗和二次击穿问题, 因而它的开关频率被限制在 1~2 kHz。当今 GTO 在高压大电流逆变器的应用中占优势, 特别是在满足 2~3 kV 的直流电压和线电压的使用要求方面, 目前尚无自关断器件可与 GTO 竞争。

(2) 巨型晶体管 (简称 GTR): GTR 是一种双极型电流控制的 NPN 可关断器件, 目前研制水平已达 800 A/1200 V, 由于少数载流子的注入使其工作速度

还不十分快,又加它的电流增益差,当用于大功率变流器时需采用二级或三级达林顿模块。GTR 模块是将 GTR 管芯、续流二极管管芯以及辅助元件组成一个功能单元,组装在塑料树脂外壳内。目前生产的 GTR 已基本模块化,很受用户欢迎,已广泛应用于中小功率感应电动机变频调速、电梯调速和 UPS 中。

(3) 静电感应晶闸管(简称 SITH): SITH (400 A/4000 V)是一种场控晶闸管,在其栅极上加反向偏压即处于阻断状态,除去反向偏压即或为导通状态的常通型器件。与 GTO 相比,除其关断电流增益略低和通态电压降略高外,其他特性都与 GTO 相似,但其开关频率要比 GTO 高得多,目前已用于高频感应加热等领域。

单极型电力电子器件 主要品种有:

(1) 功率 MOSFET (30 A/1200 V): 一种高频多数载流子可关断器件。因它无少数载流子存储效应,因而开关时间短,典型值为 20ns。MOSFET 的特点是输入阻抗高和开关损耗低。MOSFET 电流具有负温度系数,有良好的电流自动调节能力;不易产生二次击穿;抗干扰能力强;但它的导通压降高,通态损耗较大。因 MOSFET 控制方便和开关速度快,目前已广泛应用于开关电源及小功率高频开关变流器中。

(2) 静电感应晶体管(简称 SIT): SIT 是一种大功率结型场效应管,其功能类似真空三极管,因此是一种常通器件。它的固有缺点是通态压降过大,不能满足大部分电力电子技术的应用要求,但它除作开关应用外,可工作在放大状态,目前已用于高频感应加热、高压小电流电源、超声波发生器以及调频、调幅发射机内,目前制造水平已达到 250A/2000V。

混合型电力电子器件 系指双极-MOS (Bi-MOS)器件,主要品种有:

(1) 绝缘门极双极型晶体管(简称 IGBT): IGBT (研制水平已达 800 A/1000 V)是一种兼有 MOSFET 低驱动功率和双极型晶体管低电压降优点的混合功率器件。它的特点是电流密度高,开关损耗低,安全工作区宽,没有 GTR 所固有的二次击穿问题,因此有可能制成不用吸收回路的 IGBT 变流器。目前 IGBT 已基本模块化,正向具有功率器件控制电路的“智能”IGBT 模块进展,这是一种很有发展前景的器件,预计在中等功率的高频逆变器中将逐步代替

GTR,目前已广泛用于各类中等功率高频逆变器和高频谐振逆变器中。

(2) MOS 控制晶闸管(简称 MCT 或 MCTH): MCT 实质上是一个 MOS 门控制的 PNP 晶闸管。它将 MOSFET 的高输入阻抗、低驱动功率和快速开关的特性与晶闸管的高压大电流特性结合在一起,可以在 MOS 门上加一窄脉冲使其导通或关断。高阻断电压和低通态压降是它的明显优点,且不存在二次击穿问题。其频率特性与 IGBT 相似。目前已有 100 A/1000 V, $t_{off}=2\mu s$ 规格的产品,并已用其制成斩波器和串联谐振变流器等装置。

目前 MCT 被认为是大功率电力电子器件中最有发展前景的器件。

(3) 功率集成电路(PIC): PIC 近年来发展很快,它是由至少有一个功率器件和一个独立功能电路(驱动、控制和保护电路)组成的单片集成电路。它的出现使电气装置的功率部分体积缩小,可靠性提高。目前 PIC 分为高压集或电路(HVIC)(20 A, 800 V)和智能功率集成电路(13 A, 110 V)两种。PIC 是功率与信息相结合的产品,它将成为传统工业“机电一体化”的关键接口。目前已用于电视机、音响等家用电器以及复印机、机器人等的电力变换和高压大电流控制。

表 2 列出了 1990 年电力半导体器件(可关断)可达到的最大容量(摘自 1990 年东京国际电力电子学会论文集)。

表 2 可关断电力半导体器件的最大容量 (1990 年)

器 件	$U(V)$	$I(A)$	$t_{off}(\mu s)$	$P_{max}(kW \cdot A) *$	频率范围(kHz)
双极型晶体管	1200	300	15~25	180	0.5~5
	550	480	5~10	130	0.5~5
IGBT	1000	200	1~4	100	2~20
MOSFET	1000	28	0.3~0.5	14	5~100
SIT	1400	25	0.1~0.3	18	30~300
GTO	4500	3000	10~25	3300	0.2~1
SITH	2000	600	2~4	300	1~10

* 三相桥式连接(每臂一只器件)变流器最大输出功率。

(张志清)

dianliu

电流 (electric current) 单位时间通过某个截面的电荷净转移量,又称电流强度。时间 Δt 内,流过截面的电量为 Δq ,则流过该截面的电流 i 为

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

电流的单位是安培(A)。由于习惯原因,电流的正方向规定为正电荷运动的方向。实际上金属导体中的电流方向是带负电荷的自由电子流动的相反方向。半导体及电解液中的电流有的是由“空穴”、正负离子等载流子的运动形成的。

电流的分类 电流按载流子的有无及其在不同材料中的运动情况可分为:传导电流、运流电流和位移电流。传导电流是媒质中的自由电子(或正负离子)在电场作用下穿过媒质原子晶格形成的电荷转移。这种电流在电荷运动过程中,载流子与晶格间的相互作用伴随着能量的转换,产生热能损耗。运流电流是电荷在真空中运动或者依附在运动物体上为其所搬运而形成的电荷转移。例如,真空中一束电子或离子在电场力作用下所形成的宏观运动。这种电流不产生局部发热。位移电流则是根据麦克斯韦的假设,电位移通量随时间变化时引入的电流概念。考虑了位移电流后在电介质或真空中电流满足连续性原理。

恒定电场作用下的电流,称直流电流。电流的量值随时间而脉动变化的称脉动电流。如电流不仅大小随时间变化,且流动方向也周期性地变换的称交变电流。

电流密度 在有电流通过的区域内,沿电荷运动方向取一垂直截面元 ΔS_n ,流过 ΔS_n 的电流为 ΔI ,当 ΔS_n 趋向物理无限小时,该点有电流密度 J ,即

$$J = \lim_{\Delta S_n \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta S_n} = \frac{dI}{dS_n}$$

如面元不与电流流动方向垂直,则 $dI = J \cdot dS$, J 的方向由该点正电荷运动方向确定。电流密度 J 是矢量,通常是空间和时间的函数。单位是安培每平方米(A/m^2)。

电流连续性原理 电荷守恒定律在电磁场中的具体反映。从空间任一闭合曲面 S 中流出的全部电流,由于电荷守恒,应等于该曲面所围体积 V 内的电荷随时间减少的变化率,其数学表达式为

$$\oint_S J \cdot dS = - \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV$$

式中 ρ 是电荷体密度。相应的微分形式是

$$\nabla \cdot J = - \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

在恒定电场中 ρ 不随时间变化,电流连续性原理可简化成

$$\oint_S J \cdot dS = 0$$

或

$$\nabla \cdot J = 0$$

前一个积分式实际上与电路中的基尔霍夫第一定律(电流定律)相对应(见基尔霍夫定律)。

电流的电场与磁场 恒定电流伴随有恒定电场,

同时在其周围还存在着恒定磁场。由于此时的电场与磁场均不随时间而变,可分别单独考察电场和磁场。若电流随时间而变,特别是随时间变化率很大时,就要统一考虑电场和磁场及它们之间的相互作用。

(方正翔)

dianliubiao

电流表 (ammeter) 测量直流、交流电流量值的电表。

直流电流表 主要采用磁电系或电动系测量机构(见机械式指示电表测量机构),这些测量机构的测量基本量是电流,可用来直接测小电流。对于大量值的直流电流,磁电系机构要使用分流器,也就是并联电阻。它的作用是对大部分被测电流进行分流。对约10A以下的电流多采用内附分流器;对更高的电流值,则使用专用分流器。它采取四端结构(图a),具有两个电流端,两个电位端。其电阻值

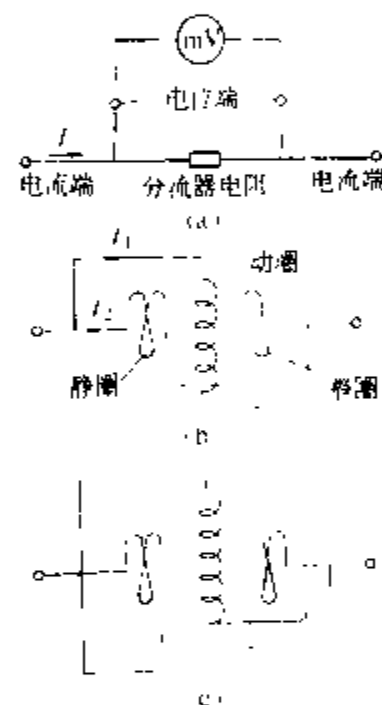
的选择条件为:当标称电流通过该分流器时,其电位端间的电压为45 mV或75 mV;以量程为45 mV或75 mV的磁电系毫伏表测此电压值,而表盘上则以电流值刻度。对于电动系机构,扩大测量电流量程的方法是:①加粗静圈的导线,同时减少匝数以保持安匝值不变;②将两静圈由串联改为并联[图(b)、(c)],可使量程扩大一倍。

交流电流表 可采用电磁系或电动系测量机构。为使磁电系机构也能测交流电流,可利用整流器,热电偶等器件先将交流转换为直流;由它们组合而成的电表分别称为整流式电流表(见整流式电表)、热电式电流表。为扩大量程以测量大电流,整流式电流表也是采用分流器;电动系电流表的做法同前;电磁系电流表则是加粗线圈导线、减少匝数。对于更高的测量电流值须配合电流互感器使用。

利用数字技术可制成数字电流表。

性能 各种电流表的量限、使用频率范围及可能达到的最高准确级见表。

波形非正弦对电磁系、电动系、热电式电流表影响较小。整流式电流表限定用于正弦波形下,数字电流表



磁电系与电动系
机构量程的扩张

(a)分流器(磁电系用);

(b)两静圈串联;(c)两
静圈并联

微	毫安系	0.05
毫	安系	0.1
毫	安系	0.05
毫	安系	0.5
毫	安系	0.5
毫	安系	0.01

- 测大电流时须配合专用分流器使用
- 测大电流时须配合电流互感器使用

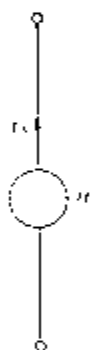
也有类似限制。电力系统中为测非正弦电流可采用变换器式电流表。

(唐统一)

dianliuyuan

电流源 (current sources) 通过的电流与其端电压无关的有源元件。它是一个二端电路元件,通过其中的电流保持为一恒定值或一确定的时间函数,

而端子间的电压可为任意值,随所接外电路的不同而不同。当电流源的电流为某一恒定值时,称其为直流电流源;当为某一时间函数时,则可按其具体的函数形式而定名,如正弦电流源,方波电流源等。在电路理论中,电流源一般用图 1 所示的图形符号表示。



电流源的电压、电流关系,在如图所示

图 1 电 流的参考方向下,可表示为

流源的图
形符号及
电路

$$\begin{cases} i = I_s \\ u \text{ 可为任意值} \end{cases}$$

若把电压 u 和电流 i 分别取为纵坐标和横坐标,所画出的电压、电流关系曲线称为伏安特性曲线。直流电流源的伏安特性是一条与 i 轴交于 I_s 且与 i 轴垂直的直线,如图 2 所示。

实际电源中,如光电池、电子稳流电源等的伏安特

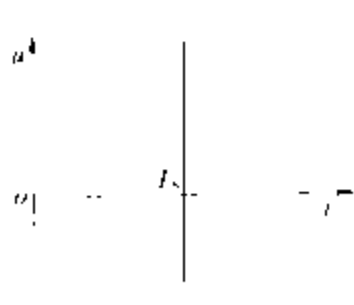


图 2 电流源的
伏安特性

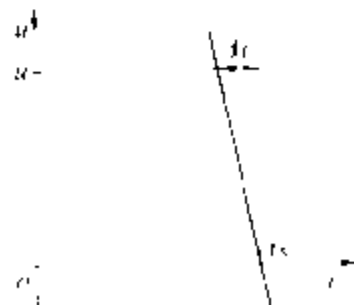


图 3 实际电流源
的伏安特性

性近似于电流源,但其端子电流会随着端电压的增加而有所减小,如图 3 所示。这时电源的电路模型可用一个电流源和

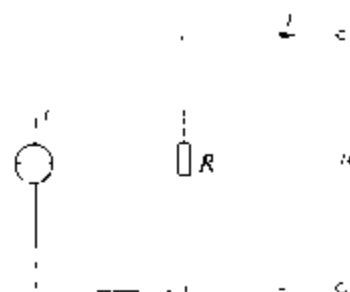


图 4 实际电流源的一种模型

一个电阻的并联电路来表征,如图 4。图中 R_s 称为电源的内阻。当端电压为 u 时,电源端电流的变化 $\Delta i = i_s - i$ 可视为其内阻上的分电流,即 $\Delta i = u/R_s$ 。

(龚绍文)

dianlu

电路 (electric circuit) 电流可在其中流通的由导线连接的电器件的组合。电器件包括电阻器、电容器、电感线圈、发电机、电动机、变压器、晶体管等等。根据一定的任务,把所需的器件,用导线相连即组成电路。电路是电力系统、控制系统、通信系统、计算机系统电系统的主要组成部分,起着电能和电信号的产生、传输、转换、控制、处理和储存等作用。例如,在电力系统中,发电机把热能、核能等转换成电能后,通过变压器、输电线把电能输送给用户;用户的电动机、电灯、电炉等便可将电能转换为所需的机械能、光能、热能等。供给电能的设备称为电源,用电的设备称为负载。

电器件可以用图形符号表示,表中为中国国家标准 GB4728 规定的一些常用图形符号。采用这些符号可绘出表明各电器件相互连接关系的原理性电路图。

电路理论 研究电路的基本规律及其计算方法的理论,与电磁场理论同属电工技术的重要理论基础。电路理论的研究对象是电路中发生的以电流、电压、电荷、磁通量等物理量来描述的电磁现象和过程。

在电路理论中,对组成电路的各个器件,只考虑它们的端电流和端钮间的电压,即只考虑它们的外部表现,一般不涉及内部发生的物理过程。例如,对一个具体电源,在电路理论中只关心它端钮上的电流和电压,并不关心其内部产生电动势的现象。

电路模型和电路元件 在电路理论中,电路一词和实际电路有区别。实际电路由实际器件组成;电路则由实际器件的模型组成。实际器件虽然繁多,但它的模型可由为数不多的电路元件来组成。电路元件包括有电阻器、电感器、电容器、电压源、电流源、受控源、耦

合电感、理想变压器等,而且都具有明确的数学定义。因而,器件用模型表示后,就可用数学方程来描述。

同一器件,因工作条件、精确度要求、选用的分析方法等的不同而可能具有多种不同的模型。例如,一个线圈(电感器)可以用电感元件或用串联的电阻元件和电感元件作为模型;直流发电机可以用电压源或串联

的电压源和电阻元件或并联的电流源和电阻元件作为模型。

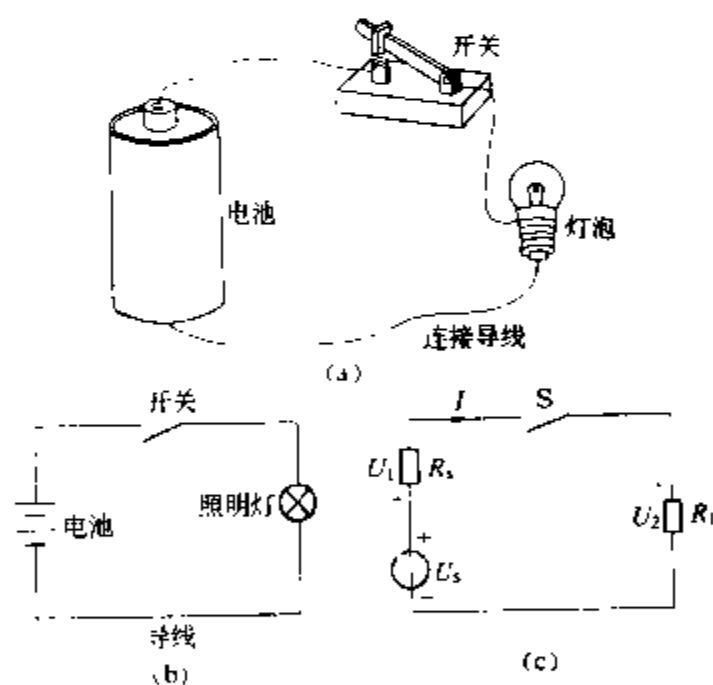
为器件建立模型常需借助于电磁场理论、半导体器件理论等有关学科。

电路元件也可用图形符号表示。采用图形符号并结合原理电路图可得出表征电路主要特性的电路模

部分电工系统图形符号表

名称	符号	名称	符号	名称	符号	名称	符号
导线		扬声器		熔断器		电阻器	
连接的导线		扬声器		照明灯		可变电阻器	
接地		铁芯变压器		二极管		电容器	
电压表		电池		稳压二极管		电感器	
晶体管		开关		隧道二极管		变压器或互感器	

型,成为对电路作定量分析的出发点。图中举例说明实际电路及其原理电路图和电路模型之间的关系。电路模型中串联的电压源 U_s 和电阻元件 R_s 系电池的模型,电阻元件 R_L 系灯泡的模型,导线的电阻则忽略不计。



小电路及其电路模型

(a)实际电路图;(b)原理性电路图;(c)电路模型

电路分析和电路综合 电路理论包括分析与综合两大分支。电路分析的任务是在给定电路的结构和元件参数的条件下确定电路的工作状态;电路综合的任务是在给定电路工作状态的条件下确定电路的结构和元件参数。目前,电路理论常专指电路分析这一分支。

在电路分析中需列出电路方程和求出方程的解。电路方程可由两类方程列出:一类是由电路的支路、节点情况列出的基尔霍夫定律方程,常称为拓扑约束;另

一类是表征各电路元件特性的方程,常称为元件约束。以图中所示电路为例,由基尔霍夫电压定律可得

$$U_1 + U_2 = U_s \quad (1)$$

由电阻元件的电压、电流关系,即欧姆定律可得

$$U_1 = R_s I \quad (2)$$

$$U_2 = R_L I \quad (3)$$

以式(2)和式(3)代入式(1)可得电路方程

$$R_s I + R_L I = U_s \quad (4)$$

给定 R_s 、 R_L 、 U_s ,即可算得电流 I 。

为简化电路的分析、计算,在基尔霍夫定律和元件电压、电流关系的基础上发展了一些常用的基本分析方法如支路电流法、回路法、节点法和表格法等。运用网络图论可得出分析电路的系统化步骤、方法,便于用计算机求解。

电路的基本性质是由一些电路定理来体现的。重要的定理有:叠加定理、特勒根定理、替代定理、互易定理、戴维南定理、诺顿定理等。它们也常被用来简化电路的分析、计算。

电路分类 电路有多种分类法,其中主要有:

集总参数电路和分布参数电路 当电路的尺寸远小于其最高工作频率所对应的波长时,电路称为集总参数电路,又称集总电路。否则称为分布参数电路,又称分布电路。

中国电力系统的工作频率 f 为 50Hz,对应的波长 $\lambda = c/f \approx 6000 \text{ km}$ (c 为电磁波的传播速度),因此在这种频率下工作时,厂房和实验室内的电工设备完全可按集总电路处理。电力传输线长度即便达到 100 km,

也还是可作为集总电路来处理。由于集总电路尺寸远小于波长,因而电磁波从电路的一端传播到另一端可认为是瞬间完成的。在集总电路中,电压、电流仅是时间 t 的函数。

相反地,对无线电调频接收机来说,若所接收的信号频率为100 MHz,则对应的波长 $\lambda=c/f\approx 3\text{m}$,连接于接收天线与接收机之间的传输线,即便只有1 m长,与波长也属同一数量级,不能作为集总电路处理,而应作为分布电路处理(见传输线)。在分布电路中,电压、电流将是时间 t 和空间坐标(沿电路的长度方向)的函数。

电阻电路与动态电路 根据电路所含元件的特点而划分的两大类电路。

(1) 电阻电路:由电阻元件、受控源等代数元件(见电路元件)及电压源和(或)电流源组成的电路。这类电路又称无记忆电路,电路中的响应只与同一时刻的激励有关。在这类电路中表明各电压、电流之间关系的电路方程是代数方程。运用支路电流法、回路法、节点法等基本方法对电路分析时只涉及代数方程的求解问题。

在电阻电路中除电压源、电流源外,若所有元件都是线性的(见电路元件),则称为线性电阻电路,否则,便称为非线性电阻电路;若所有元件都是非时变的(见电路元件),则称为非时变电阻电路,否则,便称为时变电路。例如,含二极管的电阻电路属非线性非时变电路。

(2) 动态电路:至少含有一个动态元件(见电路元件)的电路。动态电路在任一时刻的响应与电路过去的历史情况(过去的激励和连接情况等)有关,因此又称记忆电路。在这类电路中表明各电压、电流之间关系的电路方程是微分方程,运用各基本方法对电路进行分析时涉及微分方程的求解问题。(见动态电路分析、动态电路复频域分析)

在动态电路中除电压源、电流源外,若所有元件都是线性的,则称为线性动态电路,否则便称为非线性动态电路;若所有元件都是非时变的,则称非时变动态电路,否则称为时变动态电路。例如,含铁芯线圈的电路属非线性非时变电路;若铁芯线圈中的铁芯作机械移动,使电感随时间而变化,则属非线性时变电路。

直流电路和交流电路 根据电路中电流的特点而划分的两类常见电路。

(1) 直流电路:电压、电流不随时间变化的电路。例如,直流激励下的非时变电阻电路(见电阻电路)。

(2) 交流电路:电压、电流随时间作周期性变化的电路。一般工程上也常指正弦交流电路(见正弦电流)。

正弦电流电路和非正弦周期电流电路 交流电路中按电流波形面划分的两类电路。

(1) 正弦电流电路:电压、电流随时间作正弦规律变化的电路。这是电力系统中大量遇到的电路。求解这类电路的基本方法是相量法。根据作用在电路中的电源相数又可分为单相电路和三相电路。

(2) 非正弦周期电流电路:电流具有非正弦周期特点。例如正弦激励下的非线性电路以及非正弦周期激励下的线性或非线性电路,均属这类电路。前一种情况如正弦波的整流电路;后一种情况,如非正弦电源作用于铁芯线圈的电路(见非正弦周期电流电路)。






(李瀚荪)

dianlu yuanjian

电路元件 (electrical circuit elements)

电路理论中,具有独立电磁特性的最小单元。电路元件的电磁特性,由元件的电压、电流、磁链、电荷等电磁量之间的关系描述。例如电阻器的特性用欧姆定律描述;把电阻器接在电路的任何地方,电阻器的特性不变,因此称作独立的电磁特性。最常见的电路元件有电阻器、电感器、电容器、电压源、电流源和受控源等,它们的图形符号如表所示。

几种电路元件的图形符号

名称	电阻器	电感器	电容器	理想电压源	理想电流源
符号					

电路元件和实际器件 实际器件或实际元件是一个实物,例如白炽灯、绕线电阻器、电力电容器、变压器、同步发电机、晶体管等。除开端钮间的电磁特性外,实物的内部有着电磁场的分布特性,还有力学、热学等方面的特性。电路理论中的电路元件和它们的组合则不是实物,只是反映实物的端钮间电磁特性的模型。例如电阻器常用来作为白炽灯、线绕变阻器的模型。电容器作为实际电容器的模型。需要考虑实际电容器的损耗时,则用电容器和电阻器的并联电路作为它的模型。计算电力系统的潮流时,可以用电感器作为电力变压器的模型。研究变压器在雷电波作用下急剧变化的电磁过程时,变压器的电路模型可以含有多个电阻器、电感器和电容器,它们构成极其复杂的电路。电工书刊中的“等效电路”一词,有时和模型是同义语。

电路元件的分类 电路元件可按端子或端口的数目和元件性质进行分类。

按端子或端口的数目分类 按端子数目分类时,

电路元件可分作二端元件、三端元件等。按端口数目分类时,电路元件可分作一端口元件、二端口元件、三端口元件等。例如电感器是二端元件,也是一端口元件。带互感的两个电感器一起构成四端元件。

按元件性质分类 按元件性质可分为线性元件和非线性元件,时变元件和非时变元件,有源元件和无源元件,代数元件和动态元件等。

(1)线性元件和非线性元件:元件的电磁特性呈线性关系时,称元件为线性元件,否则称非线性元件。例如电阻值是常数的电阻器是线性元件,因为元件的电压和电流成正比。避雷器阀片的电压和电流不成正比,它的模型是非线性电阻器,即电阻值随电压变化的电阻器。

(2)非时变元件和时变元件:元件的电磁特性不随时间变化时,称元件为非时变元件,否则称时变元件。例如电感值不随时间变化的电感器是非时变元件,若电感或两个电感器之间的互感值随时间变化(电机旋转时,定子绕组和转子绕组间的互感随时间变化),则电感器是时变元件。

(3)无源元件和有源元件:任何情况下元件输出的能量不超过在此之前输入到元件中的电磁能量,这类元件称无源元件;否则称有源元件。电阻值是正常数的电阻器、电感值是正常数的电感器、电容值为正常数的电容器,都是无源元件。独立电源和理想的受控源是有源元件。

(4)代数元件和动态元件:若元件的电压、电流之间的关系由代数方程表述,这类元件称代数元件。电阻器、理想受控源是代数元件;若元件的电压、电流之间的关系中,含有对时间的导数,这类元件称动态元件。电感器和电容器是动态元件。例如电感器的电压,和它的电流对时间的导数有关。动态元件是电路中出现暂态的原因。

(龚绍文)

dianru

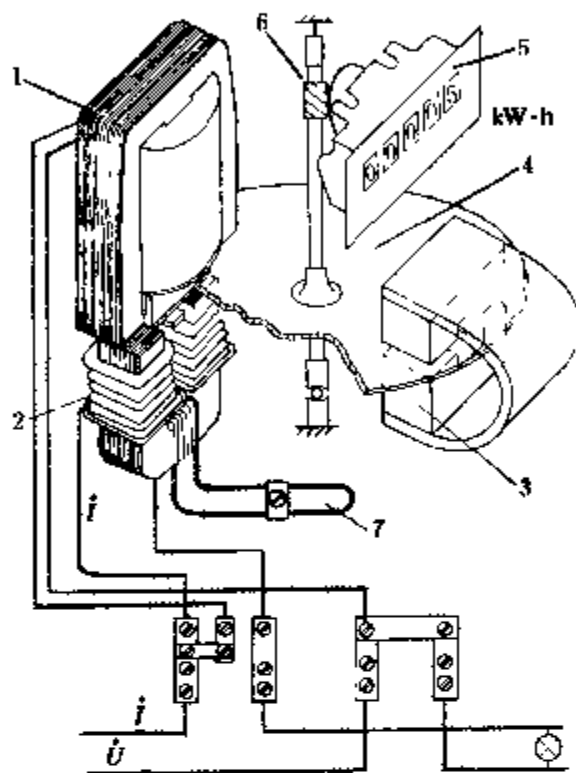
电纳 (susceptance) 见相量法。

dianrengbiao

电能表 (watt-hour meter; kWhmeter)

将有功功率对时间进行积分来测量交流电路中有功功率的电表,又称千瓦时表,电度表。电能表应用广泛。它用于计算发电厂发出的电能以及各类用户所消耗的电能,并作为经济核算和征收电费的依据。电能表可分为单相电能表和三相电能表,还有一些特殊用途的电能表,如复费率电能表、最大需量表、无功电能表、直流电能表、标准电能表等。

感应系单相电能表结构如图所示。电压元件1由电压线圈和电压铁芯组成。电流元件2由电流线圈和电流铁芯组成。制动磁铁3由永久磁铁和磁轭组成。转动元件4由转轴和固定于其上的圆盘及蜗杆6组成,支承于上下轴承之间。圆盘在电压与电流元件间的间隙和制动磁铁的间隙中转动。计度器5与蜗杆啮合,将圆盘的转动传递至字轮,在表盘上指示出电能值。



感应系单相电能表构造图

1—电压元件;2—电流元件;3—制动磁铁;4—转动元件;
5—计度器;6—蜗杆;7—相位调整机构

当电能表接入电路后,电压 \dot{U} 加到电压线圈,负载电流 \dot{I} 通过电流线圈。对于感性负载, \dot{I} 滞后于 \dot{U} 的相位角为 φ 。由于电压线圈的感抗比电阻大很多,再加上其他措施,可使电压工作磁通 $\dot{\phi}_U$ 滞后于 \dot{U} 的相位角稍大于 90° 。电流 \dot{I} 产生的工作磁通 $\dot{\phi}_I$ 也稍滞后于 \dot{I} ,利用相位调整机构7使 $\dot{\phi}_U$ 和 $\dot{\phi}_I$ 间的相位角 $\beta=90^\circ-\varphi$ 。交变磁通 $\dot{\phi}_U$ 和 $\dot{\phi}_I$ 穿过圆盘,分别在圆盘内产生感应电动势和相应的涡流 i_U 和 i_I 。由于 $\dot{\phi}_U$ 与 i_I 及 $\dot{\phi}_I$ 与 i_U 在空间上不重合,在时间上相位不同,所以它们之间便产生使圆盘旋转的转矩: $M=k\phi_U\phi_I\sin(90^\circ-\varphi)=KU I \cos\varphi=KP$ (k 与 K 为常数),即转矩 M 与功率 P 有正比关系,此转矩使圆盘转动。圆盘转动又切割永久磁铁所产生的磁通,形成与 M 相等的反作用力矩,使圆盘在一定转速下处于动平衡状态。显然,此转速与所测功率成正比,因此圆盘在 t 时间内的转数即代表该时间内的电能(Pt)。选用适当的传动比,计度器的字轮便指示出电能的千瓦小时数。

计费用电能表的准确级别,单相为2级,三相为2、1、0.5级。在10%标定电流(I_b)至最大额定电流(I_{max}), $\cos\varphi=1$ 及20% I_b 至 I_{max} , $\cos\varphi=0.5$ (滞后)条

件下,相对误差应小于准确级指数百分数(即准确级别值乘以%)。在 $5\%I_b$ 、 $\cos\varphi=1$ 及 $10\%I_b$ 、 $\cos\varphi=0.5$ (滞后)条件下,相对误差应小于准确级指数百分数的1.25~2。

线路电压改变时,圆盘切割 $\dot{\phi}_0$ 所产生的自制动力矩和轻载补偿力矩的改变将产生误差。当电压改变额定值的 $\pm 10\%$ 时,误差改变应小于准确级指数百分数。

感应系电表的力矩与频率密切相关,频率变化引起 $\dot{\phi}_0$ 和 $\dot{\phi}_1$ 的幅值与相位角及其自制动力矩改变和轻载补偿力矩改变。当频率变化为额定值的 $\pm 5\%$ 时,误差改变应小于准确级指数百分数。当电源为非正弦波时,可认为其波形是由基波和若干高次谐波分量组成。波形畸变愈大,引起误差愈大,因此波形畸变系数规定小于5%。

电能表的磁铁及电压线圈和圆盘的电阻均有较大的温度系数,温度变化时将引起温度误差。当温度改变 $\pm 10^\circ\text{C}$ 时,误差改变应小于准确级指数百分数的 $1/2 \pm 3/4$ 。

电能表圆盘的起动电流应小于 $0.3\%I_b$ (0.5级)、 $0.4\%I_b$ (1级)、 $0.5\%I_b$ (2级)。电压在额定值的 $80\% \sim 110\%$ 改变和无电流时,圆盘转动应不超过一整转。

(程世锦)

diannengbiao jiaoyantai

电能表校验台 (calibration equipment of kWhmeter) 用于测定电能表测量电能误差的成套校验装置。确定电能表的测量误差通常有两种方法:①瓦特表一秒表法;②标准电能表比较法。

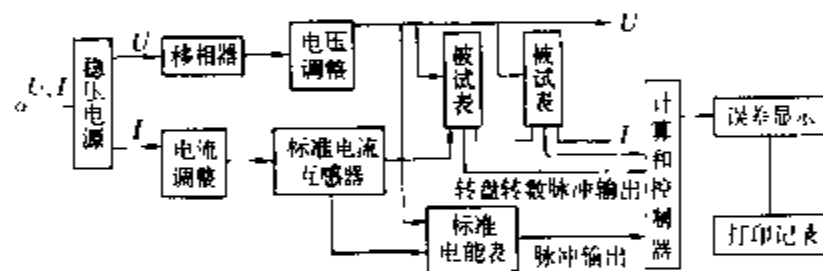
瓦特表一秒表法 当功率 P 恒定时,电能表在时间 t 内所测得的电能为 $E=Pt$ 。采用测量功率和时间的标准仪器,在功率恒定的条件下测量时间,即能确定电能表的误差,其值为 $\frac{T-t}{t} \times 100\%$,而 $T=3600 \frac{n}{NP}$,式中 t 为实测时间,s; T 为理论时间,s; P 为输入功率,kW; N 为电能表常数, $r/(\text{kW} \cdot \text{h})$;

n 为确定 T 时所取的盘转数。此方法较复杂,需要高稳定度电源和熟练的操作人员,但在实验室内仍被广泛采用。

标准电能表比较法 被试电能表和标准电能表同时接入电路中,在时间 t 内比较它们的转数以确定误差,其值为 $\frac{n_b - n_i}{n_i}$,而 $n_b = \frac{N_b}{N} n$ 。式中 n_b 和 n_i 分别为被试电能表转 n 转时标准电能表的计算转数和实际转数; N_b 和 N 分别为标准电能表和被试电能表常数, $r/$

$\text{kW} \cdot \text{h}$ 。当标准电能表经电流互感器接入电路时,应引入互感器的变比值。标准电能表比较法对电源稳定度要求不严,一只标准电能表可同时校验多只被试电能表,故在大量电能表校验工作中广泛使用。

电能表校验台有单相的和三相的,校验方式有手动的、半自动的和自动的。其组成部分包括电源、负载调整、标准电能表、控制器、误差显示和挂表架等。图示为一般电能表自动校验工作原理框图。电源应具有与被试电能表准确度相适应的稳定度和波形畸变系数,其频率应是可调的。一般多采用电子稳压电源,需大容量电源时可采用发电机组。负载调整部分包括相位角、电压及电流的调整;三相线路应保证输出达到完全平衡状态。自动校验台的电流和相位角调整应按规定程序自动转换。标准电能表经标准电流互感器接入线路,并将实际电能转换为脉冲后输入计算和控制器。被试电能表固定于挂表架上,能迅速地接入线路中。在挂表架上安置有光电元件,能准确取得表示圆盘转数的脉冲数,随即送至计算和控制器。计算和控制器可预置校验程序,并按此程序进行控制。从标准电能表和被试表输入的脉冲,经计算后在误差显示器上指示出各校验点的误差值,也可由打印机记录误差值。



电能表自动校验台工作原理框图

电能表校验台应能完成的检验项目包括:试验前预热、检验电能表常数(走字)、起动、潜动及在规定的不同负载条件下的相对误差,必要时还可进行绝缘强度试验。每一次检验电能表的数量,根据需要可从20至200台。在大量校验工作中有的采用流水线式的自动校验生产线。

电能表校验台的允许误差

电能表准确级别	0.5			1			2		
	1	0.5 滞后	0.5 超前	1	0.5 滞后	0.5 超前	1	0.5 滞后	0.5 超前
功率因数	1			1			1		
允许误差(%)	± 0.10	± 0.15	± 0.20	± 0.20	± 0.30	± 0.40	± 0.30	± 0.45	± 0.60

电能表校验台的允许误差,在国际电工委员会推荐标准(IEC763)中已有规定,如表所示。

(程世锦)

dianou jiju

电偶极矩 (electric dipole moment) 表

征电偶极子性质的物理量。它的单位是库仑·米(C·m),在分子物理中,常用德拜(D)作为单位,1D=3.33×10⁻³⁰C·m。电偶极子是指由等量正负电荷不对称分布而形成电偶极矩的分子。若正负电荷中心的距离为*l*,矢径*l*的方向规定为负电荷指向正电荷,则电荷*q*与*l*的乘积定义为电偶极矩。电偶极矩是矢量,用*μ*表示,即

$$\mu = ql$$

没有外电场时,一个原子中电子云的负电荷中心是与原子核的正电荷中心重合的,因此原子的电偶极矩为零。在外电场作用下,电子云中心相对原子核发生弹性位移,原子中出现了电偶极矩。由于该偶极矩是在外电场作用下感应产生的,故称为感应偶极矩。而极性电介质的分子在没有外电场时,正负电荷的中心是不相重合的,即分子具有偶极矩,称为固有偶极矩。H₂O分子的固有偶极矩为1.85D(6.1×10⁻³⁰C·m),为强极性分子。

在静止的电偶极子周围,存在着静电场。电偶极子产生的电场以及电偶极子在外电场中所受的力矩作用,都与电偶极矩*μ*有关。

(金维芳)

dianqi jueyuan xingneng

电气绝缘性能 (electrical insulating properties) 电介质将带电导体互相绝缘并且长期地耐受高电场强度作用的特性。电导率和击穿电场强度是表征电介质电气绝缘性能的两个重要参数。

电介质并非理想的绝缘体,在外电场作用下,任何介质中都有一定的电流通过,这就是电介质的导电现象。一般用电介质的体积电阻率或其倒数即体积电导率来描述。电导关系到电介质的漏电和损耗,要提高电介质的绝缘性能,就要求电介质具有高的电阻率,通常电介质的体积电阻率在10⁸Ω·m以上。

与电介质导电现象直接有关的方面还有电介质的击穿。当外加电场强度增大到某一临界值时,电介质的电导率突然剧增。在外电场不变的情况下,电介质中的电流迅速增大,电介质便从绝缘状态转变为导电状态,这种现象称为电介质的击穿。击穿后的电介质将丧失其绝缘性能,所以击穿是电介质在电场作用下保持绝缘性能的极限情况。发生击穿时的临界电场强度称为电介质的击穿电场强度。一般,常压下空气的击穿电场强度为3×10⁶V/m,液体、固体电介质的击穿电场强度为10⁷~10⁹V/m。电介质的击穿电场强度在其电气绝缘性能中是很重要的参数,但在实际应用中,材料短期试验得到的击穿电场强度不一定具有大的实用意义,因为电介质的击穿还与其在电气设备中长期应用

的条件及电场的分布等有关。

dianrong

电容 (capacitance) 两导体所带电荷为等量异号时,电荷的量值与导体间电位差的比值。该两导体*a*、*b*称电极,其电容*C*为

$$C = q/U_{ab}$$

式中电压*U_{ab}*为导体*a*与*b*间电位差;*q*为导体*a*的电荷。在许多情况下,两导体间有电介质。电容的大小,既与两个电极的几何形状、尺寸和相互位置有关,又与其间电介质的电容率有关。把两个电极之一的导体*b*移至无穷远处,这时的电容称为孤立导体*a*的电容。它等于孤立导体所带电荷*q*与其电位*V_a*的比值。此时电位参考点在无穷远处。电容的单位是法拉(F)。工程上经常使用的电容单位有微法拉(μF)或皮法拉(pF)。

电容器 两块金属电极,其间常填充有电介质,电场几乎全部集中于两电极之间的电器。电容器是电路中的一个基本元件。电容*C*是表示该电路元件的基本电场性能的集总参数。理想电容器的两电极之间没有传导电流通过。高质量的实际电容器,加上电压后只有微弱的传导电流通过,这时可将其看作是一个理想电容*C*和泄漏电阻*R*并联的等效电路。衡量一个实际电容器的性能,有两个主要指标:一是它的电容大小,另一个是它所能承受的电压大小。如外加电压超过电容器的额定电压过多,将使电容器中电介质内电场强度超过其击穿电场强度,导致击穿而损坏。

几种典型结构的电容计算公式 为了计算电极之间的电容*C*,根据*C=q/U_{ab}*,电极上的电荷*q*可从高斯定理得出*q=∮_SεE·dS*,*S*是包围任一电极的闭合

曲面,两电极之间的电压*U_{ab}=∫_a^bE·dl*,只要求出电极间的电场强度*E*,由上述两个关系式通过积分运算可求出电容*C*。下面是几种典型结构的电容计算公式。计算是在忽略电极边缘处电场畸变条件下简化进行的。

(1)平行极电容器的电容:*C=εS/d*,F。式中*S*是极板面积,m²; *d*是极板的间距,m;ε是极板间电介质的电容率,F/m。

(2)球形电容器的电容:*C=4πεr_b/(r_b-r_a)*,F。式中*r_a*、*r_b*分别为内、外球的外半径和内半径,m。

(3)圆柱形电容器的电容:*C=2πεl/ln(r_b/r_a)*,F。式中*r_a*、*r_b*分别为内圆柱与外圆柱的外半径和内半径,m;*l*是圆柱体的长度,m。

(4) 平行双输电线间的电容: $C = \pi \epsilon l / \ln \left[\frac{h}{2a} + \sqrt{\left(\frac{h}{2a} \right)^2 - 1} \right]$, F。式中 l 为输电线的长度, m; h 是输电线轴线间的距离, m; a 是输电线的半径, m。一般情况下, $h \gg a$, 可取双输电线的电容 $C \approx \pi \epsilon l / \ln \frac{h}{a}$ 。

电容器的串联与并联 在实际应用中, 当单独一个电容器的电容或承受电压能力不能满足要求时, 可把几个电容器连接起来使用。其基本连接方式有串联和并联两种。将每个电容器的一个极板与另一个电容器的板板依次连接, 则形成串联。 n 个电容串联后的等值电容 C 是

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/C_i)}$$

这时每个电容器上的电压与其电容量成反比, 单个电容器上所承受的电压低于外加电源电压。把各电容器的两个极板分别相连接, 则形成并联。 n 个电容器并联的等值电容 $C = \sum_{i=1}^n C_i$, 总电容增大, 但每个电容器上的电压相同。

三相制均衡输电线的电容 三相正弦交流电流的电场不属于静电场问题, 但因其频率不高, 电场随时间变化率不高, 仍然可以利用静电场的基本关系来分析计算其电容。架空输电线路的电容与电极间的距离及离地高度有关。三相输电线路的三根导线不能同时满足具有相同的线间距离和线与地面之间等高的条件, 这样, 必造成三相线路的各相电容不等。为了尽量做到三相平衡, 输电线路的导线要加以换位。措施是经过相同的一定长度后, 各相导线依次交换位置, 经过换位并考虑到地面的影响, 三相输电线每相的等值工作电容 C_p 为

$$C_p = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \left(\frac{2hd}{ad'} \right)} \text{ F}$$

上述结果是适用于输电线距地等高的情况。式中 h 为导线距地高度, m; a 为输电线半径, m; 三相输电线间的距离分别为 d_{AB} 、 d_{BC} 、 d_{CA} , 则 $d = \sqrt[3]{d_{AB}d_{BC}d_{CA}}$ 是线间距离的几何平均值, m; $d' = \sqrt[3]{d'_{AB}d'_{BC}d'_{CA}}$ 是各相导线轴与大地下面对应的镜像导线轴之间的距离的几何平均值, m。

部分电容和杂散电容 考虑一个由 $n+1$ 个导体组成的系统, 如各个导体带有不同的电荷, 导体具有不同的电位, 假设其中一个导体的电位为零(参考电位)和总电荷的代数和为零。这时可用 $n(n+1)/2$ 个电容来表示各导体上电荷与各导体间电位差的关系。这些

电容被叫做导体系统的部分电容。部分电容的大小取决于这些导体的几何形状、大小、相互位置以及导体之间电介质的电容率。通过部分电容使导体间有静电耦合。例如三相对称布置带有导体外壳的电缆, 共有 4 个导体, 6 个部分电容, 其中 3 个为线间电容, 3 个为线芯对外壳之间的电容。通常人们把导体系统中不是由于工作需要而又实际存在的一部分静电耦合较弱的部分电容, 称之为杂散电容。在精密测量或传输微弱信号时, 杂散电容易受外界环境影响而改变, 使测量精度或仪器工作性能降低, 应采用静电屏蔽等措施来削弱或消除其影响。

电容器的能量 电容集中反映了电容器的电场性能, 因而电容器的电场能量 W_E 与电容 C 有关, 即

$$W_E = \frac{1}{2} q U_{ab} = \frac{1}{2} C U_{ab}^2 = \frac{1}{2} \times \frac{q^2}{C}$$

电容器在相同电压的条件下, C 愈大, 储存的电场能量愈大。电容器是电路中储存电场能量的元件。电力系统中, 电力电容器被用来改善功率因数就是利用这一性质。在电子电路中, 电容器也是一种常用的电路元件。如调谐用的可变电容器, 以及组成整流滤波和时延电路的电容器等。

非线性电容 电容电介质的电容率明显地为电场强度的非线性函数时, 这类电容称之为非线性电容。它的特性常用电压 U 与电荷 q 的曲线 ($q-U$ 特性曲线) 表示。在 $q-U$ 曲线上与某一工作点对应的 q 与 U 的比值叫静态电容。特性曲线的斜率 dq/dU 叫做非线性电容的动态电容。这类非线性电容组成的电路元件在近代电工技术和电子电路中正在被逐步应用。

(方正潮)

dianrong celiang

电容测量 (capacitance measurement)

基本电参数电容的测量。电容的单位为法拉(F)。由于电极间电介质的能量损耗, 电容器可看作是电容与电阻串联(成电容与电阻并联)。电容的测量方法有: 冲击法、电容表法、三表法、电桥法和谐振法等。

冲击法 用冲击检流计间接测量电容的方法。原理

接线如图 1 所示。图中除被测电容外, 还有一个直流电压表和一个冲击检流计。对被测电容 C 施加直流电压 U 。将开关 S 由位置 1 迅速投向位置 2, 电容 C 中电荷通过检流计泄放, 泄放的电荷 Q 可由检流计读出。电容 C 可按公式 $C=Q/U$ 计算。

图 1 冲击法

电容表法 用电容表直接测量电容的方法。电容表使用方便,可直读被测电容量。指针式电容表需外接工频电源,测量范围为 $0.5 \sim 10 \mu\text{F}$ 。数字电容表用电池供电,测量范围为数皮法到数千微法。

三表法 用交流电压表、电流表、功率表来测量电容的方法。原理接线如图 2 所示, r 为与被测电容 C 串联的电阻(反映能量损耗)。电容 C 可分别由电压表、电流表和功率

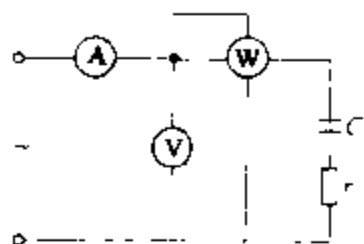


图 2 三表法

表所测量的 U 、 I 、 P 值以及已知的电源频率 f , 按公式 $C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - \left(\frac{P}{I^2}\right)^2}}$ 计算得到。若 $P \approx 0$, 电

阻 r 可忽略不计, 则电容 C 可只由 U 、 I 值, 按公式 $C = I / (2\pi f U)$ 计算得到。

电桥法 用电桥测量电容的方法(见交流电桥)。

谐振法 由电感、电容发生谐振的条件来测量电容的方法。将标准可变电感 L 和待测电容 C 组成串联或并联电路, 调节 L , 使电路处于谐振状态。也可将标准电感和待测电容 C 组成串联或并联电路, 由高频信号发生器供电。调节发生器输出信号的频率, 使电路谐振。电容 C 可由电感 L 和电源的频率 f , 按公式 $C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$ 计算得到。

(谈克雄)

dianyong dianzu lubo zhengliu dianlu

电容、电阻滤波整流电路 (rectifier circuit

with RC filter) 用电容电阻滤去单向脉动直流电压中的脉动分量以输出平滑直流电压的整流电路。纯电阻负载整流电路输出的是单向脉动直流电压, 在实际应用时必须加接滤波电路, 滤去输出电流中的脉动分量, 使输出尽量平滑。滤波电路按所采用的电抗元件可分为电感、电容滤波电路和电容、电阻滤波电路。前者多用于大功率三相整流装置中。

电容、电阻滤波电路又可分为电容型滤波电路和 π 型滤波电路。

电容型滤波整流电路 电容型滤波整流电路如图 1 所示。由图可见, 它是在负载电阻 R_L 两端并联一只足够大的电容 C 构成。由于电容器是一个储能元件, 它能使整流电路输出波形变得比较平滑。图 1 中实线所示的电压波形为加上滤波电容 C 时, 负载 R_L 两端的电压波形; 虚线部分为未加滤波电容 C 时, R_L 两端的电压波形。当 u_2 高于 u_L 时, 整流二极管导通, 电容 C 处于充电状态。而当 u_2 低于 u_L 时, 二极管截止, 电容 C 通过负载 R_L 放电, 把能量释放给负载。如此周而复始, 在负载 R_L 上即可获得平滑的直流电压。

采用电容滤波后, 由于二极管导通角减小, 故其输出电压将增高。在半波整流电路中, 当 $R_L C \geq (3 \sim 5) T$ (T 是交流电压的周期) 时, 或者在全波整流电路中, 当 $R_L C \geq (3 \sim 5) T/2$ 时, 输出直流电压为 $U_L = (1 \sim 1.4) U_2$ 。 $R_L C$ 值越大, U_L 值越高, 而且其脉动系数(见整流电路)值也越小。当负载电阻 $R_L \rightarrow \infty$ 时, $U_L = \sqrt{2} U_2$, 脉动系数 $M \rightarrow 0$ 。

图 1 (a) 所示电路中整流二极管所承受的反向电压最大值比无电容时大, 其值等于 $\sqrt{2} U_2 + U_L$ 。图 1 (b)、(c) 所示电路中加滤波电容器和不加滤波电容器

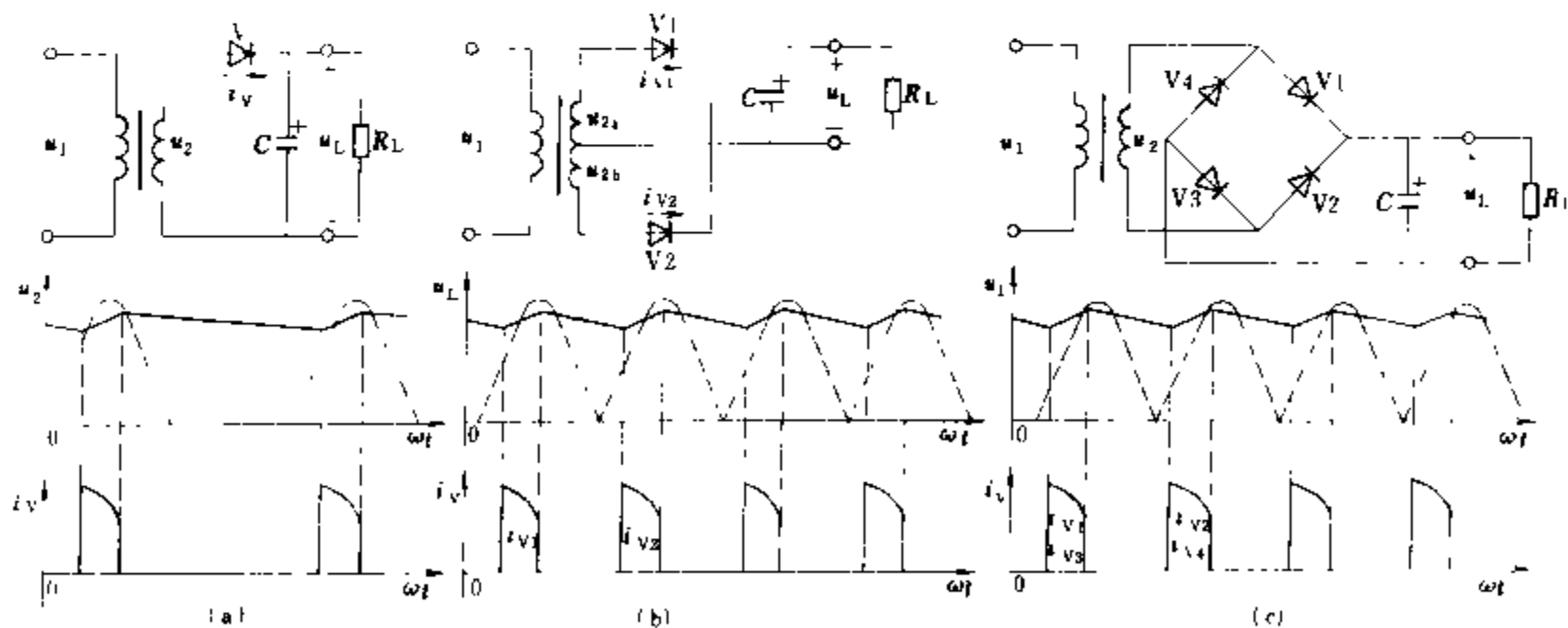


图 1 电容型滤波整流电路

(a) 半波电容型滤波整流电路及其主要波形图; (b) 全波电容型滤波整流电路及其主要波形图;

(c) 桥式电容型滤波整流电路及其主要波形图

时二极管所承受的最大反向电压值都相等。

此电路的外特性(即 U_L 与 I_L 关系曲线)如图 2 所示。由图可见,其外特性比纯电阻负载整流电路的外特性(图中虚线所示)下降快。

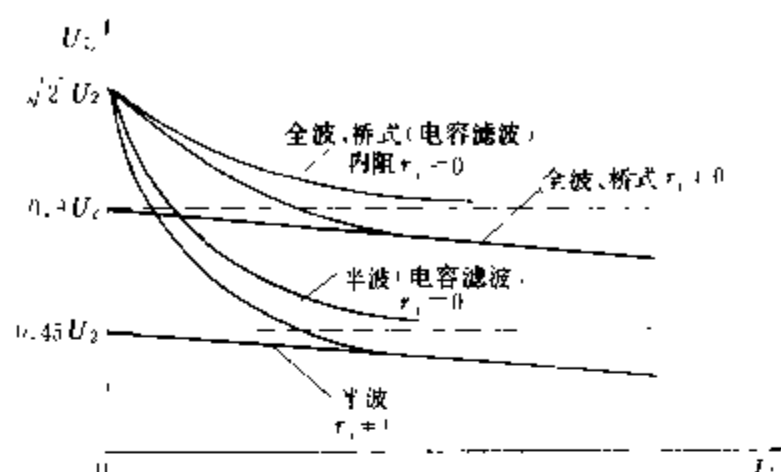


图 2 电容型滤波整流电路的外特性

π 型滤波电路 电容型滤波电路在一定的负载 R_L 下,加大滤波电容容量,通常可使脉动系数 M 达到 10^{-2} 数量级,若要使其 M 更小,就需在滤波电容后面再加一个或几个 R-C 滤波器来组成 π 型滤波电路。在 C_1 和 R_L 之间加入一个 R-C 滤波器组成的 π 型滤波电路,如图 3 所示。此时 R_L 两端直流电压值为 $U_L = R_L U_{C1} / (R_L + R)$ 。

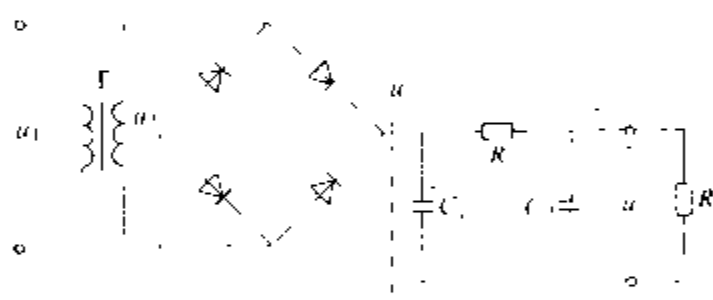


图 3 π 型滤波电路

π 型滤波电路输出端脉动系数 M_2 和输入端脉动系数 M_1 之间的关系为 $M_2 = M_1 / \omega C_2 R'$ 。式中 ω 为整流输出脉动电压的基波角频率,当电网频率为 50 Hz 时,半波整流角频率 $\omega = 314 \text{ rad/s}$,全波整流角频率 $\omega = 628 \text{ rad/s}$; $R' = R // R_L$, $//$ 表示电阻并联。

(叶治政)

dianrong fenyaoqi

电容分压器 (capacitor voltage dividers)

见分压器。

dianronglu

电容率 (permittivity) 是描述电介质极化性能的宏观参数,也称介电常数。一电容器充满电介质时的电容量 C 与真空时电容量 C_0 的比值称为该介质的相对电容率,用 ϵ_r 表示,即

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

ϵ_r 是无量纲值且大于 1。显然,电介质极化愈强,其相对电容率 ϵ_r 就愈大。如干燥空气在温度为 20℃、气压为 1 个大气压力下的 ϵ_r 为 1.00058,非极性石蜡的 ϵ_r 为 2.25,而强极性的水的 ϵ_r 达 80。由于空气的 ϵ_r 接近于 1,所以固体与液体电介质的相对电容率可以认为是与空气的电容率的比值。

电介质的电容率与外加电场频率及温度有关。在恒定电场作用下,电容率具有最大值,称为电介质的静态电容率 ϵ_s ,在光频下的电容率称为光学电容率 ϵ_∞ 。对于极性电介质和一些离子晶体介质,其 ϵ_s 和 ϵ_∞ 可能相差较大,对于非极性电介质,其 ϵ_s 与 ϵ_∞ 是相等的。

电介质的相对电容率 ϵ_r 与电介质组成的三个微观参数 N 、 α 、 E_i 的关系为

$$\epsilon_r - 1 = \frac{N\alpha E_i}{\epsilon_0 E}$$

式中 ϵ_0 是真空的绝对电容率, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$; E 是外加宏观电场强度; N 是电介质单位体积的分子数; α 是电介质的分子极化率; E_i 是电介质中的有效电场强度,是指作用在极化分子上的电场强度。一般, E_i 和 E 是不相等的, E_i 与电介质的微观结构有关。

电容率的温度系数 α_ϵ 定义为温度变化 1℃ 时,电容率的相对变化率,即

$$\alpha_\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \frac{d\epsilon}{dT}$$

α_ϵ 的单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。

(金维芳)

dianronglu yu sunhao yinsu shiyan

电容率与损耗因数试验 (test for permittivity and dissipation factor)

一种测定电介质或电气设备绝缘的电容率与交流有功损耗功率特性的试验。作为电介质基本电气性能参数之一的电容率 ϵ ,是经常需要予以测定的。在交流电压作用下,绝缘材料会因漏电导、松弛极化、甚至气隙放电等原因导致部分电能介质中被转化为热能而消耗掉,这将使流过绝缘电流的相位由超前电压 $\pi \text{ rad}/2$ 减小为 $(\pi/2 - \delta) \text{ rad}$, δ 角称为介质损耗角。 $\text{tg} \delta$ 称为损耗因数,又称介质损耗角正切,它反映了电介质的有功损耗。实测 $\text{tg} \delta$ 可为选择材料、控制工艺和判断设备绝缘性能的一种依据。由于 $\text{tg} \delta$ 是流过介质电流的有功分量与无功分量之比,即 $\text{tg} \delta$ 为介质损耗中有功功率与无功功率的比值,因而该项电参数和电容率 ϵ 一样与绝缘的尺寸无关,但却能反映绝缘本身的特性。极据 $\text{tg} \delta$ 来判

断设备绝缘性能的有效性,随被测绝缘材料和绝缘结构的不同而异。

测量原理 电容率可根据一定电极系统下试样的电容 C_x 求取,即

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} = \frac{0.036\pi t C_x}{A} \quad (1)$$

式中 ϵ_r 为相对电容率; C_0 为试样的几何电容, pF; C_x 为试样电容, pF; t 为试样厚度, m; A 为电极面积, m^2 。

损耗因数可根据串联等值电路 [图 1 (a)] 或并联等值电路 [图 1 (b)], 测量 C_x 、 R_x 或 C_p 、 R_p 后按式 (2) 或式 (3) 求得。

采用串联等值电路时 $\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x$ (2)

采用并联等值电路时 $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p}$ (3)

式中 ω 为所加电压的角频率。

测量方法 有电桥法、谐振法、数字化测量法等。

电桥法 常用的是平衡电桥,如西林电桥、变压器电桥、四电容电桥等。

(1) 用西林电桥进行测量。1920 年由 H. 西林 (H. Schering) 提出。它适于在低频交流电压下进行测量。高压西林电桥的原理接线如图 2 (a) 所示。

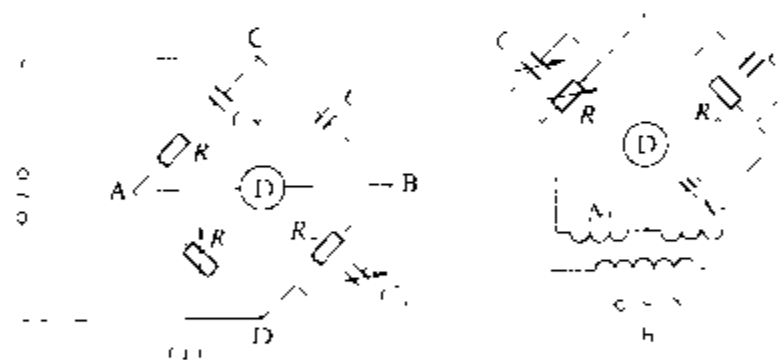


图2 两种电桥法的测量线路

(a) 高压西林电桥; (b) 低压变压器电桥

C_x 、 R_x —试样等值电容和电阻; C_N 、 R_N —标准电容和电阻; R_3 、 R_4 —桥臂电阻; C_1 —可调电容; N_1 、 N_2 —绕组匝数; D—检测器

如试品以串联等值电路代表,则在电桥平衡时可得

$$C_x = \frac{R_4}{R_3} C_N; \quad \operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x$$

根据试品接地与否的情况,电桥的连接方法有正接法、反接法和对角线接法。对不直接接地的试品采用正接法,即接线图中D点接地。对现场运行中必需接地的试品,如电力变压器等,可采用反接法,即接线图

中C点接地,或可采用A点接地的对角线接法。采用反接法时,可调电容和电阻处于高电位,需采取相应的绝缘措施。采用对角线接法时,应设法扣除试验电源引线等的对地电容所引起的试验误差。

外界电磁场的干扰会引起测量误差,有时电桥甚至不能平衡。消除或减小干扰影响的方法是采取屏蔽措施和执行适当的操作手续。为消除外界电场的影响,可变动试验电压 \dot{U} 的相位进行两次测量,即先调节电桥平衡测得 $\operatorname{tg} \delta'$ 及 C'_x ,然后将 \dot{U} 的相位变动 180° ,再测得 $\operatorname{tg} \delta''$ 及 C''_x 。绝缘实际的 $\operatorname{tg} \delta = (C'_x \operatorname{tg} \delta' + C''_x \operatorname{tg} \delta'') / (C'_x + C''_x)$ 。减弱外界磁场干扰影响的作法是,将检测器D与电桥结点A、B的连接倒换一下,分别测得两种情况下的数值 $\operatorname{tg} \delta'$ 和 $\operatorname{tg} \delta''$ 。绝缘实际的 $\operatorname{tg} \delta = (\operatorname{tg} \delta' + \operatorname{tg} \delta'') / 2$ 。

西林电桥可在施加高电压下,实测出有关参数值,对高压电气设备绝缘的监测,可较符合运行状态。

(2) 用变压器电桥进行测量。如图 2 (b) 接线所示。当电桥平衡时可得

$$C_x = \frac{N_1}{N_2} C_N; \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_N R_N}$$

这种电桥的灵敏度和准确度较高。一般用作精密的、量程范围较大的校正测量。

(3) 用四电容电桥进行测量。该电桥的诸桥臂主要由电容构成,可较准确地测试 $\operatorname{tg} \delta$ 较小的绝缘材料。

谐振法 在高频电压下进行测量的一种方法。试样电容用替代法测量;损耗因数常用变Q值法 [接线见图 3 (a)] 和变电纳法 [接线见图 3 (b)] 测量。

(1) 电容 C_x 的测量。 C_x 用有试样和无试样两种情况下,发生谐振时调谐电容C的差值 ΔC 来求取,即 $C_x = \Delta C = C_2 - C_1$ 。式中 C_2 、 C_1 分别为无试样与有试样谐振时,调谐电容的读数。

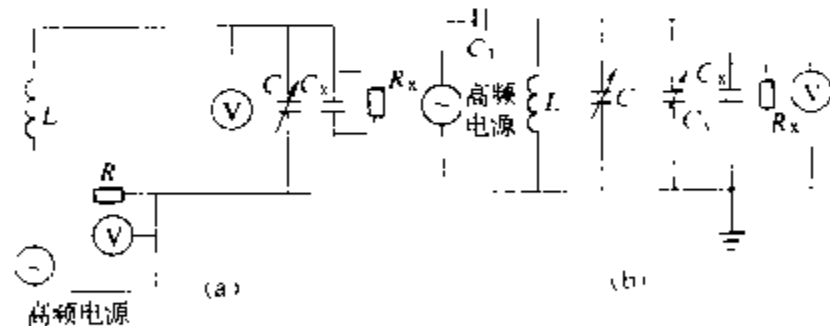


图3 谐振法测量线路

(a) 变Q值法; (b) 变电纳法

C_x 、 R_x —试样并联电容与电阻; L —谐振线圈; C —谐振电容; C_1 —耦合电容; R —耦合电阻; C_2 —耦合电容; V —高频电压表

(2) 损耗因数 $\operatorname{tg} \delta$ 的测量。①用变Q值法。设 Q_1 和 Q_2 分别为有及无试样下,电路发生谐振时的Q值,则

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{C_2 + C_0}{C_x} \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2} \right)$$

式中 C_2 为无试样时的谐振电容; C_0 为谐振电容以外的零电容。②用变电容法。测量有及无试样两种情况下失谐到半功率点时谐振曲线的宽度 ΔC_1 和 ΔC_2 求取,

即 $\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta C_1 - \Delta C_2}{2C_x}$, 式中 C_2 为无试样时的谐振电容。

数字化测量法 基本原理是将流过试品的电流信号与由高压标准电容器或其他采样元件所取得的试品两端的电压信号用相位比较器进行比较, 利用脉冲计数法测出两者的相位差 φ , 然后根据 $\varphi = (\pi/2) - \delta$ 算出试品的介质损耗角 δ , 进而得到 $\operatorname{tg} \delta$ 。由于测试中避免了调节电桥平衡的复杂过程, 因而用于电气设备的在线连续监测十分有利。

绝缘材料试样与电极

(1) 试样: 根据材料类型有平板、薄膜、管三种。

(2) 电极系统: 有二电极系统与三电极系统。三电极系统用于低频电桥法。二电极系统用于高频谐振法。

(3) 电极型式: 有接触式与不接触式两种。一般采用接触式电极。不接触电极用于薄膜和 30 MHz 以上的高频测量。

(4) 电极材料: 用接触法测量时, 必须用电极材料。在低频下可用粘贴铝箔、烧银、真空蒸铝或金、导电橡皮等。在高频下只能采用前两者。

测试技术

(1) 测量方法与仪器的选择: 按材料的性能、测量频率与所需的测量准确度选择。

(2) 边缘电容的校正: 应用三电极时, 用等效面积(板状试样)或等效长度(管状试样)计算相对电容率。应用二电极时, 用经验公式修正边缘效应, 如用测微电极, 此时不需作边缘电容的校正。

(3) 温度、湿度影响的消除: 测试前作试样的预处理。测试在标准条件下进行。

(4) 电场干扰的消除: 对连线、检测器和试品采用完善的屏蔽, 接地点应合适选择, 接地应良好。

参考书目

张仁豫主编, 高电压试验技术, 北京: 清华大学出版社, 1982

(刘耀南 凌 慰)

dianrongqi

电容器 (capacitor) 允许交流电流通过, 而不允许直流电流通过的二端电路元件。它在直流下能储存电荷, 在正弦电流下能通过超前电压相位近 90° 的电容性电流。电容器由电介质隔开的两个金属板板所构成。电容器最主要的特性参数是标称电容量和额定

电压。此外, 还有损耗因数、绝缘电阻、温度特性和频率特性等。电容量 (C) 与电极板面积 (S), 极间距离 (d) 和电介质的电容率 ϵ 有关, 在普通平板型电容器中电容量可用 $C = \frac{\epsilon S}{d}$ 公式来计算。

最早发明的是用玻璃作电介质的瓶式电容器, 常称为莱顿瓶。以后逐步发展的各种电容器是采用气体(或真空)、液体、固体和液固复合等电介质构成的电容器。故按介质, 可分为空气电容器、油纸复合电容器、固体陶瓷电容器、塑料电容器、电解电容器等。按结构, 可分为固定型和可调型两种。按应用领域, 可分为电力电容器、脉冲电容器、无线电电容器等。早期的电力电容器是采用矿物油与低复合介质, 近代发展了合成液体介质与聚丙烯薄膜复合介质, 后者提高了电容器的绝缘强度, 增加了电容器单位体积所能产生的无功功率。大容量电力电容器主要安装于电力系统和工矿企业的变电所内, 作无功功率补偿之用。无线电电容器用于电子电路中起滤波、隔直、耦合、旁路、调谐等作用, 是电子电路中不可缺少的基本元件。早期多采用以天然云母为介质制成的具有耐热、稳定和高频特性好的云母电容器, 但其工艺复杂, 价格较贵, 现已为各种陶瓷电容器、塑料薄膜电容器所取代。滤波用的电解电容器通常以金属为正极并在其表面上形成一层氧化膜为介质层, 电解质为负极。这种电容器有固定的正、负极性, 使用时不可接反。电解电容器的电容量很大, 通常为微法级, 低压的可达 $10^4 \mu\text{F}$ 。常用的有铝电解电容器和钽电解电容器。20 世纪 70 年代还出现了一种双电层电容器, 其电容量特别大, 如 3 F/cm^2 , 很容易获得几十法电容量。主要用于作微型计算机的备用电源。

(张志清)

dianwei

电位 (electric potential) 表示静电场特性的一个物理量, 其值等于从观察点沿任一路径移动单位正电荷到参考点时电场力所作的功。单位正电荷受到的电场力等于电场强度 E 。因此, 电场中任一点 a 的电位 V_a 按 E 的线积分计算

$$V_a = \int_a^p E \cdot dl$$

式中 dl 是积分路径上的长度元, p 点是已选定的参考点。已知电位分布, E 按下式计算

$$E = -\nabla V$$

电位的单位是伏特 (V)。电位是一个标量点函数, 当参考点选定后, V_a 只与 a 点的位置有关。如参考点选择不同, 则两种情况下的 V_a 值相差一个常数。在理论研究时常选取高场源无穷远处一点为参考点。工程实

际中则常选取大地为参考点。静电场中, a 、 b 两点间的电位差 $U_{ab} = V_a - V_b = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ 。电位差之值与参考点的选择无关。

电位与电荷的关系 在点电荷 q 所激发的电场中, 如周围是真空, 且选无穷远点为参考点, 则与点电荷 (场源) 相距 r 处一点的电位 $V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$ 。式中 ϵ_0 为真空电容率。也可求出其他各种电荷分布情况下电场的电位函数。由 $\mathbf{E} = -\nabla V$, 可进一步算出电场强度 \mathbf{E} 。

等位面 电位相等的点所组成的曲面叫等位面。根据静电场的特点, 导体是个等位体, 因此导体表面就是个等位面。点电荷周围的电场, 其等位面均为球面。不同的电场可有不同形状的等位面。与等位面相垂直的曲线是电力线。如能使相邻两等位面间的电位差均相等, 则可估计出电场的分布情况。等位面愈密处, 电场强度愈大, 如图所示。



等位面 (实线) 和电力线 (虚线) 的图形

电位函数满足的基本方程 对于线性均匀各向同性的电介质, 其电容率 ϵ 为常数, 电位函数 V 满足的基本方程为泊松方程

$$\nabla^2 V = \rho/\epsilon$$

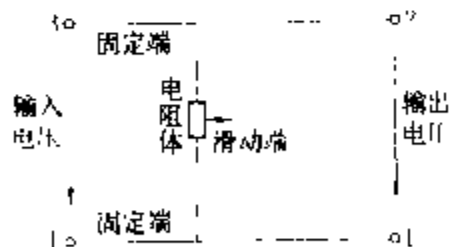
式中 ρ 是电荷体密度。当所研究的静电场空间没有电荷分布时, 电位函数 V 满足拉普拉斯方程

$$\nabla^2 V = 0$$

(方正翔)

dianweiqi

电位器 (potentiometer) 具有三个端子的可变电阻元件。电位器通常由电阻体和可移动的触点 (滑动端) 组成 (见图), 移动触点的位置可改变可移动触点与电阻体固定端的电阻值, 从而可改变输出电压和输入电压之间的比值。由图可见, 输出电压可以从零调节到输入电压值。电位器可用来调节和控制电位差, 例如用来控制电机的磁场电流、调节收音机的音量等。



电位器示意图

主要参数 除了标称总电阻值、额定功率和电阻温度系数 (见电阻器) 外, 还有: ①输出函数特性。这

是一重要特性。它是电位器的电压比 (输出电压与输入电压之比) 与行程比 (滑动端所经行程与总行程之比) 间的函数关系, 又称阻值变化规律。常用的函数关系有直线式、指数式和对数式。此外, 还有正弦、余弦等形式, 适用于特殊用途。②允许偏差。它指电位器的实际输出函数值与理论值之间的偏差, 常用实际输出与理论输出间的绝对差值的百分数来表示电位器的符合性。允许偏差范围称为精度。③分辨力。指输出电压或阻值的最精细调节能力, 表征触点的最小移动所产生的输出量变化。它对仪器或控制系统的调节精度有重要影响。

分类和特点 按电阻体的构成材料分类有线绕电位器、合成碳膜电位器、有机实芯电位器、金属玻璃釉电位器和导电塑料电位器等。①线绕电位器。它具有精度高、稳定性好、温度系数小、接触可靠、耐高温、功率负荷能力强等优点; 缺点是阻值范围不够大, 高频性能差, 分辨力不高, 体积大, 易损坏和价格高。②合成碳膜电位器。它具有阻值范围宽、分辨力较好、工艺简单、价格低等优点; 但动噪声大, 耐潮性差。③有机实芯电位器。它的阻值范围较宽, 分辨力高, 耐热性好, 过载能力强; 但耐潮性和动噪声较差, 一般制成半固定形式, 在电路中作微调用。④金属玻璃釉电位器。它具有有机实芯电位器的优点, 且电阻温度系数较小, 发展很快。⑤导电塑料电位器。它的阻值范围宽, 线性精度高, 分辨力强, 耐磨, 寿命特别长; 缺点是温度系数和接触电阻较大。它在控制仪表中得到广泛应用。

(张志清)

dianweiyi

电位移 (electric displacement) 描述电介质中电场特性的一个重要物理量。电位移 \mathbf{D} 与电场强度 \mathbf{E} 之间的关系, 由下列两个等效的式子中任意一个给出

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$$

或

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$$

式中 \mathbf{P} 是极化强度, ϵ 与 ϵ_0 分别为电介质与真空的电容率。

极化强度和电容率 电介质中每个分子都是一个复杂的带电系统, 含有等电量的正、负束缚电荷, 并分布在线度 10^{-10} m 数量级的体积内。在正常情况下, 正负电荷位置重合, 对外不呈现带电性。但在外电场作用下, 正负电荷位置不重合, 相距一微小距离 l , 形成电偶极子, 有电偶极矩 \mathbf{p} , $\mathbf{p} = ql$, 式中 q 为电荷的电量, l 的方向由负电荷指向正电荷。当电介质处于外电场中, 在其内部都将呈现出大量的电偶极子。这个宏观效应叫微电介质极化, 并用极化强度 \mathbf{P} 来度量。

$\mathbf{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum \mathbf{p}_i}{\Delta V}$, ΔV 是物理无限小的体元, 其中包含有大量的微观分子电偶极矩 $\sum \mathbf{p}_i$ 。如电介质中的电场强度不大 (小于其击穿电场强度) 时, \mathbf{P} 与 \mathbf{E} 之间存在一定关系。大多数电介质的 \mathbf{P} 与 \mathbf{E} 在各个方向上均有相同的

关系, 这类电介质叫做各向同性电介质。但也有些电介质的 \mathbf{P} 随 \mathbf{E} 的方向改变而有不同的关系, 这类电介质称为各向异性电介质。有一类电介质的 \mathbf{P} 与 \mathbf{E} 有线性关系, 称为线性电介质。此时, $\mathbf{P} = \chi \mathbf{E}$, χ 为电介质的极化率, 它是常数。另一类电介质的 χ 与电场强度则有复杂的关系, 称为非线性电介质。通过电偶极子的电场计算和场的叠加性, 可以得出电介质内部关系式

$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}) = \rho$$

式中 ρ 为自由电荷体密度, 定义电位移 \mathbf{D} 为

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$$

\mathbf{D} 即为考虑了电介质在电场中极化后的物理量。 \mathbf{D} 和 \mathbf{P} 的单位均为库仑每平方米 (C/m^2)。因为 $\mathbf{P} = \chi \mathbf{E}$, 上式又可写成

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 (1 + \chi) \mathbf{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E} = \epsilon \mathbf{E}$$

χ 和 ϵ_r 分别为电介质的相对极化率和相对电容率。 ϵ 就是表示电介质在电场作用下、考虑极化性能后的参数。电介质如为线性各向同性的, ϵ 为常数。电容率可通过实验测出。

高斯通量定理 把 $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$ 等号两边对电介质中任意体积 V 进行积分, 并应用矢量分析中散度定理, 则得

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_V \rho dV$$

上式为高斯通量定理的积分表达式, 其微分表达式是 $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$ 。它们是静电场的基本定理之一。这个定理虽然是从静电场的库仑定律出发推导而得, 但其适用范围可推广到不属于静电场的其他电场, 具有十分重要的理论意义。

高斯定理积分表达式的左侧, 是电位移 \mathbf{D} 对任一闭合曲面 S (体积 V 的界面) 的面积分, 相当于通过该曲面 S 的 \mathbf{D} 的通量, 故 \mathbf{D} 又称为电通量密度。根据高斯定理, 这个通量应等于该闭合曲面 S 所围的体积 V 内所包含的自由电荷的电量的代数和。高斯定理揭示了电场的场源电荷量与场量 \mathbf{D} 之间的基本关系。计算具有对称分布或均匀分布的电场的 \mathbf{D} 或 \mathbf{E} , 是高斯定理的又一实际应用。

(方正期)

dianxue he cixueliang danweizhi

电学和磁学量单位制 (unit systems of elec-

tric and magnetic quantities) 物理量单位制中电学量和磁学量单位的集合。

基本单位 为了建立一种物理量单位制, 首先要选取若干个彼此独立的物理量, 把这些量的单位作为基本单位, 然后利用物理学方程从基本单位导出其他各种物理量的单位, 即导出单位。基本单位和导出单位一起构成了一种物理量单位制。

对于一种单位制来说, 基本单位的数目应该足够, 以保证能从这些基本单位得到所有的导出单位。另一方面, 基本单位的数目应减少到最低限度, 以保证单位制内部的一致性。

选择何种物理量单位作为基本单位, 由两方面的因素决定: 首先, 所选的物理量应是在物理学中起最基本作用的量; 另一方面, 所选物理量的单位应能准确地复现, 并便于保存。不同单位制的差别就在于基本单位的选取方法不同。

一般说来, 力学量的基本单位是最重要的。通常选取长度、时间和质量 (或力) 三者的单位作为力学量基本单位, 由此就可以导出所有的力学量导出单位。例如按照加速度的定义式 $a = \frac{d^2s}{dt^2}$, 就可以由路程 (即长度) s 和时间 t 的单位导出加速度单位。当涉及到电磁量时, 由于电磁现象从原则上不能归结为力学现象, 还需增加一个电磁量基本单位。

在历史上起过重要作用的和现行的电磁单位制主要有: CGS 静电制、CGS 电磁制、高斯制、实用单位制及国际单位制等几种。

CGS 静电制 简称为 CGSE 制。该制所选的长度单位为厘米, 质量单位为克, 时间单位为秒。选作电磁量基本单位的是电荷量单位, 其量值由真空中的静电库仑定律导出 (真空电容率规定为 1), 称为 CGSE 电荷单位, CGS 静电制便于进行静电学计算, 在静电学的发展中起过较大作用。其缺点是此单位制中的许多导出单位的量值太大或太小, 不便于实用。在进行磁学计算时采用此单位制也不够方便。

CGS 电磁制 简称为 CGSM 制。该制的力学量单位与 CGSE 制相同, 选作电磁量基本单位的是电流单位, 其量值由真空中电流元之间的磁相互作用定律导出 (真空磁导率规定为 1), 称为 CGSM 电流单位, 这种单位制的优点是便于进行磁学计算, 但不少导出单位的量值也是太小或太大, 而且不便于进行静电学计算。

高斯制 其中电学量的单位与 CGSE 制相同, 磁学量的单位则与 CGSM 制相同。因此, 高斯制对于静电学计算和磁学计算均可适用, 其中大部分导出单位的量值也较适中。高斯制在物理学中曾得到较广泛的应用, 其缺点是在联系电学量和磁学量的公式中会出

现以光速 c 为因子的比例系数, 使公式复杂化。

实用单位制 简称为 MKSA 制。在工程计算中得到广泛使用。其中长度单位选用米, 质量单位为千克, 时间单位为秒。选作电磁量基本单位的为电流单位安培。其他电磁量单位则均可由它们导出, 如电荷单位库仑等于安培·秒等。实用单位制中绝大部分单位的大小适中, 便于应用, 其缺点就是规定了真空的电容率和磁导率均为不等于 1 的常数, 因而使一些计算公式较为复杂。

国际单位制 由于实用单位制具有许多优点, 1954 年的第十届国际计量大会决定以实用单位制的四个基本单位作为基础, 再增添热力学温度单位开尔文和发光强度单位坎德拉两个基本单位, 发展成为更广泛的国际单位制, 简称为 SI 制。国际单位制于 1960

年第十一届国际计量大会上正式通过。在 1971 年的第十四届国际计量大会上又决定再增添物质的量的单位摩尔作为第七个基本单位。以后的各届计量大会对国际单位制又有所修改, 使其进一步完善化。

国际单位制中电磁量基本单位——电流单位安培定义如下: “安培 (A) 是电流的单位。在真空中, 截面积可忽略的两根相距 1 米 (m) 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时, 若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} 牛顿 (N), 则每根导线中的电流定义为 1 安 (A)”。实际上, 这样的定义与规定真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m 等效。

四种单位制中的主要电磁单位及相互关系见表。

国际单位制现已被世界各国广泛接受。中国国务院于 1981 年批准推广应用国际单位制。

四种单位制的主要电磁量单位及相互关系

单位制	SI 制	CGSE 制	CGSM 制	高斯制
电 流	安 培	CGSE 电流单位 $\approx 3.336 \times 10^{-10}$ 安培	CGSM 电流单位 = 10 安培	高斯制电流单位 $\approx 3.336 \times 10^{-10}$ 安培
电 压	伏 特	CGSE 电压单位 ≈ 299.8 伏特	CGSM 电压单位 = 10^{-6} 伏特	高斯制电压单位 ≈ 299.8 伏特
电 荷 量	库 仑	CGSE 电荷单位 $\approx 3.336 \times 10^{-10}$ 库仑	CGSM 电荷单位 = 10 库仑	高斯制电荷单位 $\approx 3.336 \times 10^{-10}$ 库仑
磁感应强度	特 斯 拉	CGSE 磁感应强度单位 $\approx 2.998 \times 10^6$ 特斯拉	高斯 = 10^{-4} 特斯拉	高斯 = 10^{-4} 特斯拉
磁 通	韦 伯	CGSE 磁通单位 ≈ 2.998 韦伯	麦克斯韦 = 10^{-8} 韦伯	麦克斯韦 = 10^{-8} 韦伯
磁场强度	安培每米	CGSE 磁场强度单位 $\approx 2.654 \times 10^3$ 安培每米	奥斯特 ≈ 79.58 安培每米	奥斯特 ≈ 79.58 安培每米

(张钟华)

dianya

电压 (voltage) 移动单位电荷时电场力所作的功, 或电场强度的线积分。由 a 点沿路径 l 至 b 点间的电压 U_{ab} , 定义为电场强度 E 沿此路径的积分, 即

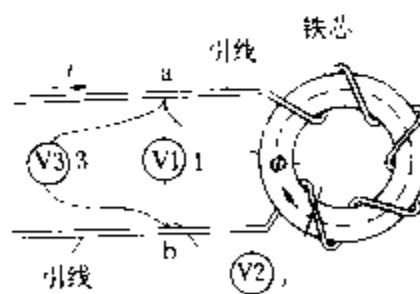
$$U_{ab} = \int_{ab} E \cdot dl$$

在国际单位制 (SI) 中, 电压的单位是伏特 (V)。

静电场中的电压 静电场中电压 U_{ab} 与路径 l 无关, 只与 a 、 b 两点的位置有关, 它就是 a 、 b 两点的电位差 U_{ab} (见电位)。

时变电磁场中的电压 一般而言, 时变场中电压与路径有关。因此, 必须标明积分所沿路径 l , 举例说

明如下。图示一线圈绕在铁芯上形成电感元件, 其中通有正弦电流 i 。三个电压表 $V1$ 、 $V2$ 、 $V3$ 分别量测电压 U_{a1b} 、 U_{a2b} 、 U_{a3b} 的有效值。这里脚注 $a1b$ 、 $a2b$ 、 $a3b$ 分别表示积分路径。由电磁感应定律 (见电磁感应) 知



时变电磁场中电压与路径有关

$$U_{a2b} - U_{a1b} = \frac{d\Phi}{dt}$$

式中 Φ 是与回路 $a2b1a$ 链环的磁通。显然

$$U_{ab} \neq U_{ba}$$

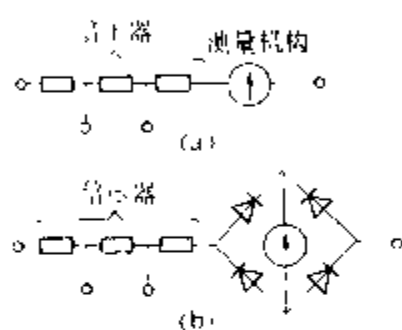
但是如果忽略两引线间空气中磁场,认为磁通集中在铁芯中,而且积分路径不许穿入电感元件内部,则回路a1b3a链环的磁通可以忽略,乃有 $U_{ab} \approx U_{ba}$ 。在这种通常不予说明的理解之下,两点间的交流电压近似地与路径无关,即图中电压表V1、V3的读数近似相等。

(马信山)

dianyabiao

电压表 (voltmeter) 测量直流、交流电压量值的电表。

直流电压表 主要采用磁电系或电动系测量机构



(见机械式指示电表测量机构),并串联以适当的电阻(即倍压器)而形成(见图)。对于不同的电压量程,可串以不同电阻值的倍压器。静电系测量机构量测的基本量就是电压,可直接用以测直流电压。

直流与交流电压表 改变电极间的间隔或采用不同结构可形成量程不同的静电系电压表。利用数字技术可制成直流数字电压表(见数字电压表)。

交流电压表 除可使用静电系测量机构外,电磁系、电动系测量机构串以倍压器都可以形成交流电压表。至于磁电系测量机构,要先结合整流器、热电偶制成能测出交流电流的电流表,再配以适当阻值的倍压器,方能形成交流电压表。它们分别称为整流式和热电

电压表的性能比较

		量程 (V)	准确度 (10%以下)	内阻 (10 ³ Ω/V)	功耗 (W)
模拟	静电系	—	0.1	—	—
	电磁系	—	1	—	—
	电动系	—	1	—	—
	静电系	—	0.1	—	—
	整流式	—	—	—	—
	热电式	—	—	—	—
数字	直流	—	—	—	—
	交流	—	—	—	—

• 测高压时须配合电压互感器使用

式交流电压表。晶体管式电压表则是利用晶体管电路将交流转换为直流,结合倍压器形成多量程的交流电压表。利用数字技术可制成交流数字电压表。

性能 各种电压表的量限、使用频率范围、内阻及可能达到的最高准确级见表。

整流式与晶体管式电压表一般规定使用在正弦波形电路中,如为非正弦波形,可采用变换器式电压表。

(唐统一)

dianyayuan

电压源 (voltage sources) 其端电压与通过的电流无关的有源元件。它是一个二端电路元件,其端子间的电压保持为一恒定值或一确定的时间函数,而与通过它的电流无关。电流可为任意值,随所接的外电路的不同而不同。当电压源的电压为某一恒定值时,称其为直流电压源,当为某一时间函数时,则可按其具体的函数形式而定名,如正弦电压源、方波电压源等。在电路理论中,电压源一般用图1所示的图形符号表示,直流电压源又常用图2中的图形符号表示。

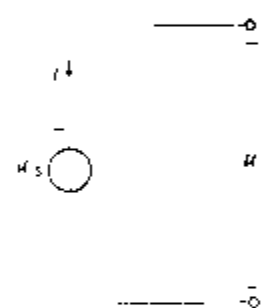


图1 电压源的图形符号及电路

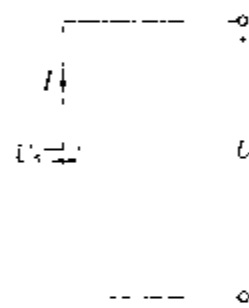


图2 直流电压源的图形符号及电路

电压源的电压、电流关系,在如图所示的参考方向下,可表示为

$$\begin{cases} u = u_s \\ i \text{ 可为任意值} \end{cases}$$

对于直流电压源,若把电压 u 和电流 i 分别取为纵坐标和横坐标,所画出的电压、电流关系曲线称为伏安特性曲线。电压源的伏安特性是一条与 u 轴交于 U_s 且与 u 轴垂直的直线,如图3所示。

实际电源中,如蓄电池、发电机、电子稳压电源等的伏安特性近似于电压源,但其端电压会随着电流的增加而有所减小,如图4所示。实

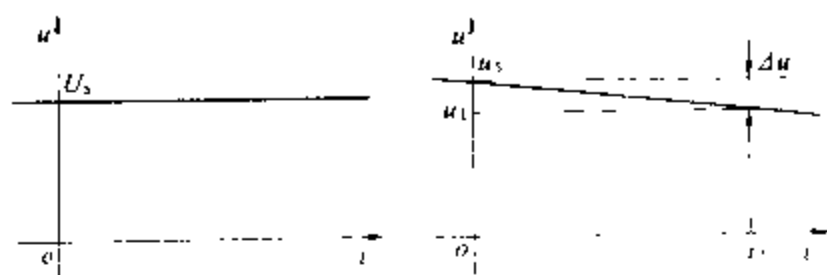


图3 电压源的
伏安特性

图4 实际电源的
伏安特性

实际电源的电路模型可用一个电压源和一个电阻的串联来表征,如图5。图中 R_0 称为电源的内阻。当电流为 i 时,电源端电压的变化 $\Delta u = u_0 - u$ 可视为其内阻的压降,即 $\Delta u = R_0 i$ 。

三相电路中常采用三相电压源,可以看成是由三个二端电压源组合而成(见三相电源)。

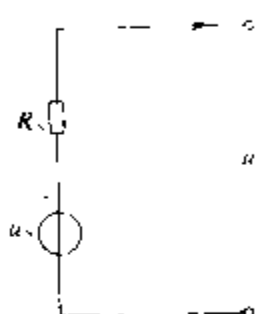


图5 实际电源的
一种模型

(姜绍文)

dianyuan de dengxiao bianhua

电源的等效变换 (equivalent transformation between sources)

带内阻的电压源与带内阻的电流源互相替代的一组变换公式。按照这组公式,用带内阻的电流源代替带内阻的电压源或者反过来,不影响电路其他部分的电压、电流。在电路分析中常利用这种变换。

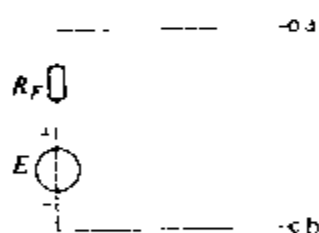


图1 电压源

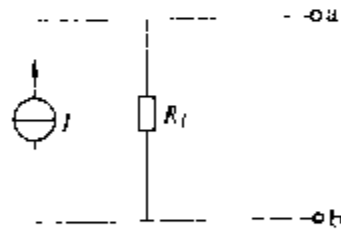


图2 电流源

图1所示电压源的电动势是 E ,与它串联的内电阻是 R_E 。图2所示电流源的电流是 I ,与它并联的内电阻是 R_I 。它们之间的变换公式为

$$\begin{cases} E = R_I I \\ R_E = R_I \end{cases} \quad \begin{cases} I = E / R_E \\ R_I = R_E \end{cases}$$

当满足上述变换公式时,称一个电源是另一个电源的等效电源。

(肖达川)

dianyun fangdian

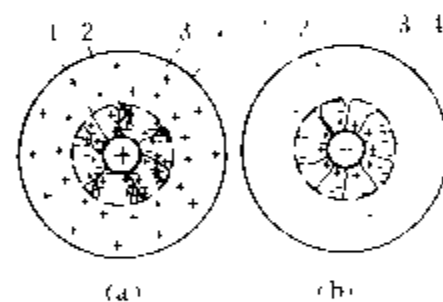
电晕放电 (corona discharge) 气体间隙在极不均匀电场作用下产生的局部放电现象。例如,在电

极表面有尖端或电极很细的导线时,就在那些电场很强而且超过气体的击穿强度的表面附近产生局部放电,但并不发生整个间隙的击穿。此时,在电极的表面可以观察到淡淡的发光层,并能听见滋滋的响声,这就是电晕放电。它属于一种自持放电形式(见气体击穿理论)。开始产生电晕的间隙电压和电极表面场强,分别称为电晕起始电压和电晕起始场强。

正极性和负极性的电晕有很大的不同。例如,当细线加上正电压形成极性电晕时,电晕表现为一个均匀的蓝白色的鞘层,并布满在整个细线的表面;当细线加上负电压时,电晕表现为沿着细线分布的粉红色辉光亮点。负电晕的自持放电是由正离子和光子碰撞阴极而维持;而正电晕则是由阳极附近的电子在强电场下形成的电子崩,以及电子崩产生的光子所造成的光电子等因素而形成的自持放电。

在电晕放电的过程中要产生大量的带电粒子,从而在电晕电极周围形成空间电荷。以图中的同轴圆柱电极为例,当内外电极的直径相差很大时,内电极表面场强很强而发生电晕放电。由于电子运动速度比正离子的快得多,使得正负电晕的空间电荷有所不同,见图(a)、(b)。正负电晕的内电极附近都积累着正的空间电荷。但是在外区的电荷符号和电晕电极的符号相同,这样就加强了外区中的电场,使得整个间隙中的电场分布趋于均匀。所以有时可利用产生电晕的方法来提高整个间隙的击穿电压。

当高压输电线过细,以致其周围电场过强时,会产生严重的电晕放电。电晕放电会造成可观的能量损失,每千米的功率损失可达几十千瓦。电晕放电产生的臭氧及氮氧化物和附近的金具及绝缘材料产生化学作用,会造成后者的腐蚀和老化。电晕放电包含有高频脉冲电流,对周围环境会产生电磁干扰。在高压输电线路中采用分裂导线的结构,可降低导线的表面场强,从而减小线路的电晕及其危害。



同轴圆柱间发生电晕后的
空间电荷示意图

(a) 内电极为正极性;

(b) 内电极为负极性

1—电晕电极;2—电晕层(为了显图中厚度被增大了,没有按比例画);3—外区;4—外电极

另一方面,电晕放电也具有很多工业应用,例如利用电晕放电原理而制成的静电除尘器、静电喷漆机、静电复印机、臭氧发生器、范德格拉夫静电发生器等。

(罗承沐)

电子电路 (electronic circuits) 由电子元件和电子器件组成的能实现特定电功能的电路。电子器件包括晶体管、场效应管、集成电路和电子管等。

简史 1906年美国的L. 德福雷斯特(L. De Forest)发明了三极电子管,构成了电子管组成的第一代电子电路;1948年美国的W.B. 肖克莱(W. B. Shockley)、J. 巴丁(J. Bardeen)和W.H. 布拉顿(W. H. Brattain)发明了晶体管,使电子电路从电子管电路发展为晶体管电路,构成了由晶体管组成的第二代电子电路;1958年美国制成了第一块集成电路,1967年研制成大规模集成(LSI)电路,1978年研制成超大规模集成(VLSI)电路,从此电子技术进入了微电子技术时代,逐渐在不同领域中取代了普通晶体管并形成第三代、第四代的电子电路。

分类 电子电路有多种分类方法。按信号的特点可分为:模拟电子电路和数字电子电路;按频率高低可分为:低频电子电路和高频电子电路;按电子器件的工作状态可分为:线性电子电路和非线性电子电路;按功能不同可分为整流、滤波、振荡、放大、调制、计数等等电路。

模拟电子电路 依靠电压对时间的连续变化来运载信息的信号叫做模拟信号,例如音乐、语言变换为电信号后都是模拟信号。工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电子电路,例如图1所示的广播发射机的电路。

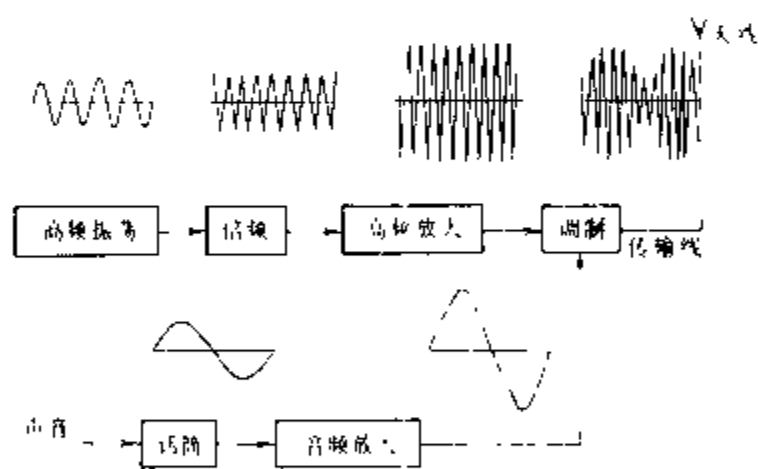


图1 广播发射机的电路

数字电子电路 依靠电压对时间的断续变化来运载信息的信号叫数字信号。工作在数字信号下的电子电路称为数字电子电路,例如计数器电路。数字信号可以由模拟信号转换过来,而模拟信号也可以转换为数字信号,如图2所示。中间的两个圆圈代表两种信号(数字的和模拟的),在二者之间的方框表示模拟信号转换成等效的数字信号形式(A/D =模拟/数字)和数字信号转换为相应的模拟形式(D/A =数字/模拟),其余的部分包括信号的输入和输出。

低频电子电路 传送、控制和处理低频信号的电路。语言、音乐、报警信号均属低频信号。如图1广播发射机的方框图中,声音的变换与音频放大这一部分电路就是常见的低频电子电路。

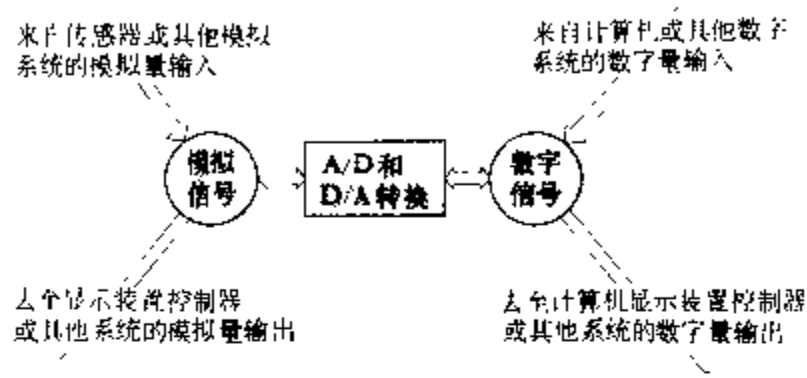


图2 信号处理系统的组成部分

高频电子电路 传送、控制和处理高频信号的电路。例如图1广播发射机的方框图中,高频振荡的产生、放大与调制这一部分电路属高频电子电路。

线性电子电路 由于输入信号足够小,它工作于电子器件特性曲线中的很小部分,故特性曲线可用其切线代替,即近似工作于线性部分的电子电路。例如各种小信号放大电路就是线性电子电路。

非线性电子电路 由于输入信号幅度较大,电子器件工作于特性曲线的饱和或截止部分的电子电路。如触发器电路、比较器电路等等。

应用 电子电路能实现多种特定的电功能。它被广泛用于各种电子设备和电子系统中,如通信系统、测量系统、广播电视系统、计算机系统、自动控制系统等。下面是应用实例。

在通信系统中的应用 一个通信系统,输入信号可以是语言、音乐或者数据,输入信号产生于某一地点,经过长距离有效地传送,然后在接收地点还原为原来的信号。例如图1的广播发射机就是一个通信系统的发射部分。该图中高频振荡器的作用是产生高频振荡电压,这种高频电压波是用来运载声音信号的,称为载波。而高频振荡器所产生的电振荡的频率不一定恰好等于所需要的载波频率,它的电压一般也比较小。需要用信频器把频率提高到所需要的数值,再用高频放大器放大到一定的强度,以推动调制器。调制器是综合调制信号和载波的一种电路,如广播电台常用的调幅广播,它是将音频信号“装载”到高频振荡的幅值中去,然后由发射天线传出。

在测量系统中的应用 一个测量系统,从传感器中得到某一物理量,经过处理把这个信息显示或记录下来。例如图3所示的数字温度计,从热电偶来的模拟信号先被放大,经过线性补偿,再转换为数字信号,被



测物体的温度最后就由一个数字显示装置显示出来。

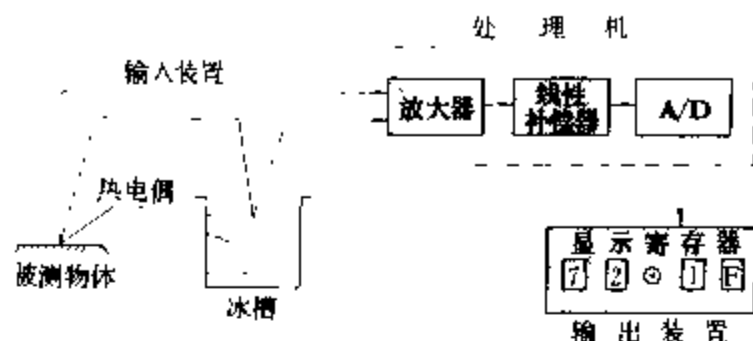


图3 数字温度计方框图

发展趋势 电子技术发展异常迅速。微细加工技术的进步对信息电子技术产生巨大影响。就电路而言，正沿着以下三个方向发展。

(1) 采用新型器件。新器件的出现和使用对电子技术产生深刻的影响。例如，电子管、半导体三极管、集成电路的相继问世，促成了几代电子电路的更迭。

(2) 采用新的控制方式和手段。新的控制方法会使电路达到更高的性能。例如凭借微型计算机这个新的控制手段使昔日无法实现的控制方式成为可能。

(3) 采用新的分析方法和调试手段。由于包含非线性元件，电子电路实质上是一种非线性电路，以往为了适应工程的要求，不得不作出种种简化，其结果是降低了分析的精确性。一个电子系统由于元件繁多，规模庞大，调试工作相当繁复。随着计算机辅助分析(CAA)、辅助设计(CAD)和辅助调试(CAT)技术的发展，数字和物理仿真技术的进步，使电子电路的分析、设计和调试工作已日趋完善。

(王志宏)

dianziguan

电子管 (electronic tube) 借助电子或离子在密封管壳内穿过真空或电离气体在电极之间运动来实现电传导的电子器件。电子管包括真空管和充气管。真空管内气体被排出，其电特性基本上不受剩余气体或蒸气的影响；充气管的电特性实质上取决于所充气体或蒸气的电离作用。不同类型电子管的特性差别很大，主要与电极数目、电极结构、真空度、电子源的类型和发射能力诸因素有关。功率可由毫瓦级到几百兆瓦(峰值)级，工作频率可由零到 10^{11} Hz。管壳类型有玻璃的、陶瓷的或金属的。

简史 1883年，T. A. 爱迪生(T. A. Edison)发现了热电发射效应(即爱迪生效应)，但当时对它的机理并不清楚。1897年，英国J. J. 汤姆逊(J. J. Thomson)揭示出形成爱迪生效应的荷电粒子是电子，爱迪生效应乃是一种热电子发射现象。1904年，英国J. A. 弗莱明(J. A. Fleming)第一个把爱迪生效

应付诸实用，发明了真空二极管。二极管的发明为无线电报接收提供了一种灵敏可靠的检波器。1906年，美国L. 德福雷斯特(L. De Forest)发明具有放大能力的真空三极管，为当时蓬勃发展的无线电报通信事业提供了一种极其有用的器件。继三极管后，又出现了四极管、五极管，更多电极的电子管和复合管，形成了包括收音管、发射管、低频管、高频管、微波管和超小型管等系列。

1903年发明了用于整流的汞弧管，1929年，A. W. 赫耳(A. W. Hull)制成闸流管。随后又相继研制出辉光放电稳压管、引燃管、充氢闸流管、数码管、计数管、等离子体显示器等。

应用 电子管是电子器件的第一代。在晶体管发明以前的近半个世纪里，电子管几乎是各种电子设备中的唯一器件。电子学随后取得的许多成就，如电视、雷达、计算机的发明都与电子管分不开。就是在固态电子学十分兴盛的现代，在一些领域中电子管仍是不可缺少的器件。例如：阴极射线管至今仍是电视接收机、示波器和雷达显示单元等必不可少的器件；摄像管用于电视摄像机；高频大功率管用于广播发射机；微波管则在雷达、电话、空间通信、自动控制和微波炉等方面获得广泛应用。充气管品种繁多，特性各异，在工业和电子技术中也有广泛用途。(见充气管)

(张志清)

dianzi qijian

电子器件 (electronic devices) 主要由电子在真空、气体或半导体中的运动来实现电传导的一种器件。用它来完成电子电路中特定的功能，如信号的提取、放大、整形、传输，生产过程的自动检测、自动控制 and 保护等。器件的不断更新换代往往会带来电子电路功能的极大提高，甚至引起电路功能的革命性变化。电子器件包括有半导体器件、真空电子器件和充气电子器件。

简史 电子器件的发展与电子有关。从1897年由J. J. 汤姆逊(J. J. Thomson)用实验验证了电子的存在以后，到1904年J. A. 弗莱明(J. A. Fleming)发明了最简单的真空二极管，1906年由L. 德福雷斯特(L. De Forest)在二极管中再引入一个控制栅极，成为具有放大作用的三极管，自此以后，就出现了第一代电子器件——真空管，又称电子管。后来为了使器件趋向小型化，到20世纪中期出现了微型电子管。在此同时还发展了充气电子器件。由W. B. 肖克莱(W. B. Shockley)、J. 巴丁(J. Bardeen)和W. H. 布拉顿(W. H. Brattain)等经过共同研究，于1948年发明了第一只晶体管，由此发展起半导体器件，又称固体器

件,这就产生了第二代电子器件——晶体管。到50年代中期,随着各种新工艺的发展,各种类型的晶体管如合金结晶体管、表面势垒晶体管、台面晶体管等相继问世。1960年前后,出现平面工艺制成硅平面晶体管,性能稳定可靠,由此发展促进了集成电路,从而产生了第三代电子器件。同时制成了金属-氧化物-半导体结构的绝缘栅场效应晶体管,为发展大规模集成电路提供了技术基础。

分类 主要分为半导体器件、真空电子器件和充气电子器件三大类。

半导体器件 按材料不同可分为锗管和硅管;按结构不同可分为二端器件如半导体二极管和三端器件如半导体三极管;按导电机理不同可分为单极型晶体管和双极型晶体管;按功能不同可分为普通二极管、特殊二极管、微波晶体管、低噪声晶体管、光电器件等;按频率范围不同可分为高频管、低频管等;按输出功率不同可分为小功率晶体管和大功率晶体管如绝缘栅场效应功率晶体管、晶闸管等;按单个器件与元件连接还是把晶体管与元件做在一块基片上可分为分立器件和集成电路。

真空电子器件 按结构不同可分为真空二极管、真空三极管和真空多极管等;按功能不同可分为放大管、阴极射线示波管、微波电子管、电子束管等。

充气电子器件 按结构和所充气体不同可分为闸流管和引燃管等。

特点 电子器件种类繁多,机理各异:①半导体器件是由半导体材料(如硅、锗、砷化镓、磷化镓等)制成。依靠载流子(空穴和电子)在固体材料中运动,具有非线性的伏安特性,大都具有单方向导电特性,体积小,重量轻,功耗低,寿命长。因此半导体器件是当前发展最迅速,更新最快的一种器件。②真空电子器件是把器件的电极(如阳极、阴极、栅极等)封装在抽成真空的玻璃(或金属)管壳内的器件。在外加电压的电场作用下,阴极发射电子在真空中运动,故又叫真空管。其体积较大、较重,导通时阳极与阴极间的电压降较高,因而功耗也较大。真空器件也具有非线性的伏安特性和单向导电的特性。③充气电子器件是先把管内抽成真空,然后再充入适当的惰性气体,所以又叫充气管。在外加电压的电场作用下,电子从阴极高速奔向阳极,途中电子与气体分子发生碰撞,使气体分子分解为电子和带正电荷的正离子,在电场作用下新产生的电子高速奔向阳极,又使气体分子碰撞电离,由于正离子的存在,可使管子的管压降减小,从而降低了充气管的功耗,也增大了管子的电容量。

应用 电子器件在电子电路中的作用是对电压和

电流进行控制、变换、传输或产生。由于电子器件的各自特点,应用场合也就不同,如半导体器件从分立器件向集成电路发展和大功率发展,已逐步取代了真空管的许多应用领域,但是在特高频率或特大功率的应用场合,仍需采用真空电子器件如电子束管、微波管等。充气电子器件多用于中、大功率的电子电路中。

应用电子器件时应注意各种器件的电性能参数和耐恶劣环境的性能。

展望 随着电子技术的发展,电子器件的用量越来越大,集成电路的集成度越来越高,精度要求越来越高,因而要求不断改进生产工艺,提高材料质量,深入研究材料的物理特性,以进一步提高集成电路的集成度和可靠性,同时要求提高器件的频率响应和额定功率。在提高集成度时会受到加工线宽的限制,这将会促使寻求新的信息载体以取代当前的以硅材料为主的半导体器件,世界上许多国家已开始研制分子电子器件。随着生产过程机械化、自动化程度的提高,必将促进电子器件性能的改进和新型器件的不断涌现。

(叶德璇)

dianzishuguan

电子束管 (electron-beam tube) 性能取决于一个或多个电子束的形成和控制的电子管。第一只电子束管于18世纪末问世。后来出现了仪用示波管。20世纪30年代初相继出现了电视显像管和摄像管。在第二次世界大战中随着雷达的发展研制了定位管、存储管和变像管等。电子束管根据信号转换形式大致分为四类:

- (1) 电信号转换为光学图像者,如示波管、显像管、定位管等。
- (2) 光学图像转换为光学图像者,如变像管等。
- (3) 光学图像转换为电信号者,如电视摄像管、光电倍增管等。
- (4) 电信号转换为电信号者,如存储管等。

电子束管种类很多,它们在国防、工业、医学、科学研究、民用等方面得到广泛应用。

示波管 能在荧光屏上显示随时间变化的电信号波形的电子束管。其电子束的聚焦和偏转一般采用静电式的。工作时给水平偏转板加锯齿波电压,以实现时基扫描;给垂直偏转板加信号电压,以便在荧光屏上显示信号波形。(见阴极射线示波管)

定位管 又名雷达指示管,装于雷达装置中用来显示目标的位置和距离的电子束管。

显像管 能将电视视频信号转换为电视图像的电子束管。电子束在偏转磁场的作用下对荧光屏进行行扫描和帧扫描,视频信号加在调制电极或阴极上。分黑

白显像管和彩色显像管两类。彩色图像是按三基色(红、黄、蓝)图像相加的原理来实现的。

存储管 能将信息(信号)存储(记录或记忆)并能一次或多次阅读(重现)的电子束管。可用于雷达上作高亮度目标显示、制造存储示波器、电缆故障检测以及医学方面的检测等。

摄像管 将光学图像转变或电信号的电子束器件。分两大类:利用光电阴极作为光电转换元件;利用光电导体作为光电转换元件。

变像管和像增强管 均属于光电成像器件,能将红外线和紫外线等不可见辐射所构成的图像及微光图像变换成可见的图像,是夜视仪器的核心器件,用于国防。

(张志清)

dianzu

电阻 (resistance) 导电物体阻碍传导电流通过的能力。一物体在其两端加上恒定电压 U_{ab} 后,物体中有传导电流 I 流过,该物体的电阻 $R_{ab}=U_{ab}/I$ 。如电压的单位为伏特(V),电流的单位为安培(A),则电阻的单位为欧姆(Ω)。物体中通有电流后,产生热量使物体温度升高,热量散失于周围媒质,故具有电阻的元件是耗能元件。这个概念还可推广,凡是能把电能转换成其他形式的能量(如热能、机械能等)的元件,而且这一过程为不可逆过程,在恒定电流的条件下,都可以用一等效电阻来表示这个元件的耗能特性。用来提供电阻的器件称为电阻器。电阻的倒数称为电导。电导的单位为西门子(S)。

线性电阻与非线性电阻 对大多数导体来说,当流过的电流不大时,温升很低就能达到热平衡,其电阻几乎维持不变而为一定值,这类电阻称为线性电阻。有些材料的电阻明显地随着电流(或电压)而变化,其伏—安特性是一条曲线,这类电阻称为非线性电阻。非线性电阻在某一给定的电压(或电流)作用下,电压与电流的比值叫在该工作点下的静态电阻,伏—安特性曲线上的斜率叫动态电阻。表达非线性电阻特性的方式比较复杂,但这些非线性关系在电子电路中得到了广泛的应用。

直流电阻与交流电阻 当通过导体的是交流电流时,由于趋肤效应,特别是在交变电流频率很高时,电流几乎集中在导体表面处,相当于导体的有效截面积减少,电阻增加,这时的电阻称为交流电阻,它大于导体通恒定电流时的直流电阻。

电阻的串并联 将多个电阻元件按不同方式加以连接,可以改变其总电阻。串联时总电阻为各个电阻之和。并联时总电阻是各个电阻的倒数总和的倒数。

绝缘电阻 电容器中的电介质严格说来具有一定的导电性能,说明电介质的电阻值是有限的,这个电阻称为电容器的绝缘电阻。

接地电阻 电力系统中为了工作或安全需要,把例如变压器的中性点接地或电气设备的外壳接地。接地时常采用导线把上述中性点或外壳与埋入大地中的电极(称为接地器)相连接。于是在某种情况下将会有电流通过接地器流入大地,流入地中的电流在土壤中形成杂散电流。土壤中对应于杂散电流所呈现的电阻叫接地电阻。

(方正翔)

dianzu cailio

电阻材料 (resistive materials) 制造电阻器的材料。制造电阻器必须选用不良导体。一般选用电阻率较高、容许温升较高、便于加工的金属导体。常用的金属电阻材料有铜镍合金、铜锰合金、镍铬合金、镍铬铁合金、铁铬合金和灰铸铁等。电阻的功能除限制电流、消耗能量、产生热量外,还有许多特殊用途,如有些专用于测量,如标准电阻器等。制造标准电阻器、电桥、电位差计等精密测量仪表所用的电阻材料称为计测电阻材料。滑线变阻器和电位器等元件在电路中用于调节电流的大小。从电动机起动用的大电流变阻器到电子线路中的小电流变阻器均需很宽的范围改变其电阻值,制造调节电阻的材料称为调节电阻材料。用于制造各种电热器的电阻材料称为发热电阻材料,它们应能在高温下工作,常用的有镍铬合金和铁铬合金。但由于熔点不够高,只能在 1000°C 下使用。在要求温度更高时需用钨、钼等特种金属,多数用于制造白炽灯丝,也称为发光电阻材料。在电子技术中广泛使用金属膜电阻和炭膜电阻,制造这一类电阻的材料称为薄膜电阻材料。此外,在非电量电测技术方面,常通过测量电阻的变化来测量应变和应力、温度、湿度、甚至测量磁感应强度等,诸如此类的电阻材料各有其特殊要求,统称为特殊电阻材料。其中包括应变电阻材料、测温电阻材料、湿敏电阻材料、磁敏电阻材料等。总之,不同的用途需选用不同的电阻材料。

(黄嘉豫)

dianzu celiang

电阻测量 (resistance measurement) 基本电参数电阻的测量。电阻的单位为欧姆(Ω)。电阻按其数值大小可分为低值电阻(10Ω 以下)、中值电阻($10\sim 10^6\Omega$)和高值电阻($10^6\Omega$ 以上)。电阻测量的方法有伏安表法、两电压表法、欧姆表法、安—瓦表法和电桥法等。选择测量方法时,需考虑被测电阻的性质、

数值大小以及对测量准确度的要求。

伏安表法 用直流电压表、电流表测量电阻两端电压及其中流通的电流，根据测得的电压和电流之比求得电阻值。测量电路有两种接法，如图1所示。图中 R 、 V 、 A 分别为被测电阻、电压表、电流表； U 、 I 分别为电压表、电流表所测得的电压和电流（示值）。两种接法的差别在于电压表、电流表的相对位置不同。对图1(a)的接法， $U/I = R + r_A$ （ r_A 为电流表内阻），仅当 $r_A \ll R$ 时， $U/I \approx R$ ；所以这种接法适用于被测电阻数值较大的情况。对图1(b)的接法， $U/I = 1/(1/R + 1/r_V)$ （ r_V 为电压表内阻），仅当 $r_V \gg R$ 时， $U/I \approx R$ ，所以这种接法适用于被测电阻数值较小的情况。

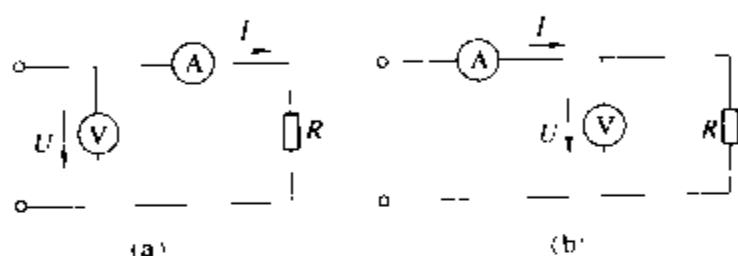


图1 伏安表法原理接线
(a) 电压表接于电流表之前；
(b) 电压表接于电流表之后

除了仪表的内阻外，引起电阻测量误差的因素还有引线电阻、接触电阻、漏电阻、热电动势、电阻自身发热等。对于不同数值电阻的测量，这些因素的影响程度不同，要采取不同措施来对待。对于低值电阻的测量，引线电阻和接触电阻是造成测量误差的主要因素。被测电阻须具有四端结构（见图2），以便排除引线电阻和接触电阻的影响。

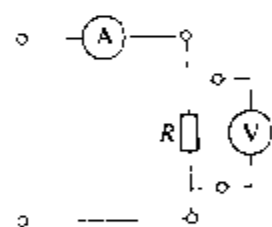


图2 四端电阻

对于高值电阻，支承电阻的绝缘支架会有漏电流通过，相当于在 R 两端并联一个漏电阻 r （见图3），影响测量准确度。为此，要在 R 的一个端钮周围设置金属屏蔽环 S ，以使漏电流不通过电流表。虽然伏安表法误差稍大，但可在工作条件下测量，所以适合于测量非线性电阻。

两电压表法 将被测电阻 R 与标准电阻 R_s 串联，通以同一电流 I ，测得 R 及 R_s 的两端电压，根据电阻上压降与阻值成正比的关系即可求得 R 的电阻值。当分别与 R 及 R_s 并联的电压表 V_1 及 V_2 的内阻趋于 ∞ 时，有 $R = R_s U_1 / U_2$ ，其中 U_1 、 U_2 分别为 V_1 、 V_2 的示值。此法较多用于测量低值电阻，采用直流数字电压表或直流电位差计来测电压，可满足电压表内阻趋于 ∞ 的条件。

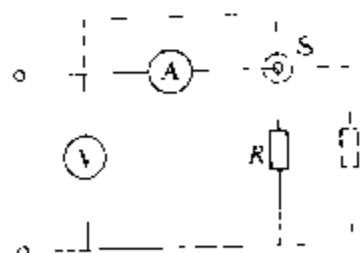


图3 屏蔽

条件。

欧姆表法 包括万用表中的欧姆档及高阻表等。指针式万用表主要用于测量中值电阻，准确度一般较低。数字万用表的阻值测量范围较宽，准确度也较高。高阻表用于测量电机、电器或电线、电缆的绝缘电阻。

安-瓦表法 用交流电流表、功率表来测量交流电阻的方法。对阻抗 Z 的交流电阻 R ，除了 Z 在直流情况下的电阻外，有时还包括了代表铁芯损耗或介质损耗的等效电阻。此外交流电阻常和其他电参数（如电感、电容）混合在一起。因此常采用三表法，即通过测量阻抗两端的电压，阻抗中电流 I ，阻抗消耗的功率 P ，来确定阻抗、电抗和电阻。阻抗 Z 的交流电阻 R 可按公式 $R = P/I^2$ 计算。

电桥法 见直流单比电桥，直流双比电桥及交流电桥。

（谈克雄）

dianzu fenyaqi

电阻分压器 (resistor voltage dividers)
见分压器。

dianzulu

电阻率 (resistivity) 表示导电材料对传导电流阻力内在性质的物性参数。它等于均匀材料单位立方体积的两个相对平面间的直流电阻值。电阻率的单位是欧姆米（ $\Omega \cdot m$ ）。取一段均匀材料，其长度为 l ，截面为 S ，测量出这段材料的电阻 R 后，从 $\rho = RS/l$ 可求出材料的电阻率。纯金属在室温下，银的 ρ 值最小，铜其次，大多数金属及合金铜的电阻率的数量级在 $10^{-6} \Omega \cdot m$ 左右。而绝缘材料的电阻率在 $10^8 \sim 10^{16} \Omega \cdot m$ 范围。

电导率 电阻率的倒数是电导率。电导率 γ 是衡量材料导电性能的一个物性参数，单位是西门子每米（ S/m ）。常见金属的电导率见表。

常见金属材料的电导率（0℃时）

金属材料	电导率 γ (S/m)	金属材料	电导率 γ (S/m)
银	66	锡	20.4
铜	64.5	钾	16
金	49	铯	11.8
铝	40	铁	11.5
镁	25.4	铷	5.2
钠	23.4		

影响电阻率的外界因素 电阻率不仅与材料种类有关，而且还与温度、压力和磁场等外界因素有关。金

金属材料在温度不高时, ρ 与温度 t ($^{\circ}\text{C}$) 的关系是 $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t)$, 式中 ρ_t 与 ρ_0 分别是 $t^{\circ}\text{C}$ 和 0°C 时的电阻率; α 是电阻率的温度系数, 与材料有关。锰铜的 α 约为 $1 \times 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$ (其数值极小), 用其制成的电阻器的电阻值在常温范围下随温度变化极小, 适合于作标准电阻。已知材料的 ρ 值随温度而变化的规律后, 可制成电阻式温度计来测量温度。半导体材料的 α 一般是负值且有较大的量值。制成的电阻式温度计具有较高的灵敏度。有些金属 (如 Nb 和 Pb) 或它们的化合物, 当温度降到几或十几 K (绝对温度) 时, ρ 突然减少到接近零, 出现超导现象, 超导材料有广泛的应用前景 (见超导材料)。利用材料的 ρ 随磁场或所受应力而改变的性质, 可制成磁敏电阻或电阻应变片, 分别被用来测量磁场或物体所受到的机械应力, 在工程上获得广泛应用。

(方正翔)

dianzuqi

电阻器 (resistor) 用来提供电阻的器件。电阻器根据用途可用不同导电性能的材料制成, 有一定结构形式, 在电路中起限制电流的作用。在一定的环境条件下电阻值不可变的称为固定电阻器, 可变的称为可变电阻器 (电位器)。普通的电阻器多为线性的, 即通过电阻器的电流和端电压成正比; 而一些特殊的电阻器, 如热敏电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器等则为非线性的, 它们应用于一些特殊电路之中, 充当敏感元件。

电阻器在电路中除起限制电流作用外, 还用于调节和稳定电流与电压。在电子电路中电阻器与电容器、电感器及电子器件组成复杂电路结构, 是电子电路中应用数量最多的元件。

主要种类 按结构型式电阻器可分为: ①碳质实心电阻器, 是由碳质电阻材料模压而成, 为早期产品。②线绕电阻器, 功率较大, 用镍铬、锰铜等合金线绕在陶瓷圆柱棒上并涂以玻璃釉或漆构成。③碳膜电阻器。④金属膜电阻器等。按用途电阻器可分为通用、精密、高压、高阻、大功率电阻器和电阻网络等。

20 世纪 60 年代以来随着集成电路的发展, 对电阻器的性能提出了更高的要求, 同时要求它向平面化、集成化、微型化方向发展。现代科学技术的发展使原来由电子器件、电阻器等构成的分立元件电子电路已大量由集成电路组件所取代, 电阻器已完全融合在集成电路之中。

主要参数 表征电阻特性的主要参数有: 标称阻值及其允许偏差、额定功率、负荷特性、电阻温度系数等。①标称阻值是设计阻值, 一般用数字或色标表示在

电阻器上。②允许偏差为实际阻值与标称阻值间允许的最大偏差, 以百分数表示, 高精度的可达 0.001%。③额定功率是电阻器在额定温度 (最高环境温度) 下连续工作所允许耗散的最大功率。通常厂家按功率和阻值形成不同系列, 供用户选用。当工作环境温度低于电阻器的额定温度时, 电阻器不能超过其额定功率使用; 当超过额定温度时, 则必须在降低功率下使用。④电阻温度系数为在规定的环境温度范围内, 温度每改变 1°C 时阻值的平均相对变化, 用 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ 表示。除以上主要参数外还有: 非线性 (电流与所加电压特性偏离线性关系的程度); 电流噪声 (电阻体内因电流流动所产生的噪声电动势的有效值与测试电压之比, 用电流噪声指数来表示); 高频特性 (由于电阻体内分布电容和分布电感的影响, 使阻值随工作频率增高或下降的性能) 等, 这些参数在某些使用条件下亦可能成为关键参数。

(张志清)

diejia dingli

叠加定理 (superposition theorem) 描述线性系统或线性电路中响应和激励呈线性关系的定理。设有 2 个或 2 个以上的激励同时作用于线性系统或线性电路, 则响应等于诸激励分别作用下的诸响应之和。这便是叠加定理的具体内容。

无记忆线性系统或无记忆线性电路中的叠加定理 “无记忆” 一词, 表示瞬时响应只和该瞬时的激励有关。对于无记忆线性系统, 叠加定理成立。例如如图 1 (a) 所示定常电阻电路是无记忆线性电路 (见动态电路分析)。图中, 两个独立电压源的电动势分别为 E_1 、 E_2 。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 是常数。电流 I_1 、 I_2 和电压 U_3 是三个响应。图 1 (b)、(c) 表示独立电源分别作用于该电路, I_1' 、 I_2' 、 U_3' 和 I_1'' 、 I_2'' 、 U_3'' 是对应的响应。由叠加定理得

$$I_1 = I_1' + I_1''$$

$$I_2 = I_2' + I_2''$$

$$U_3 = U_3' + U_3''$$

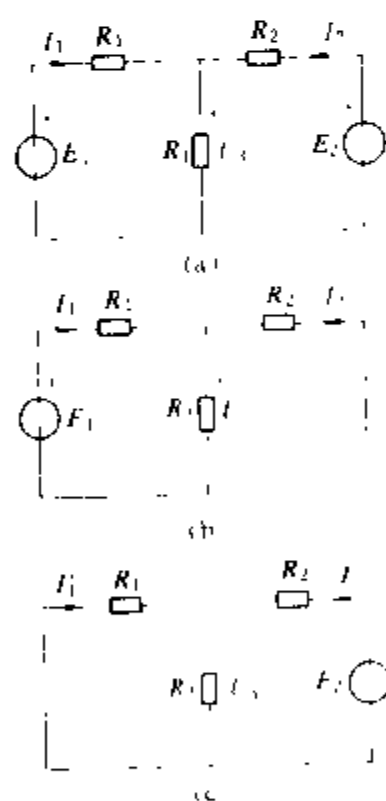


图 1 无记忆线性电路

叠加定理示意图

(a) 电动势 E_1 、 E_2 同时作用;

(b) E_1 作用; (c) E_2 作用

记忆线性系统或记忆线性电路中的叠加定理 “记忆” 一词, 代表响应依赖于激励、激励对时间的导

数、激励对时间的积分等。对于记忆线性系统，叠加定理只适用于零状态响应。

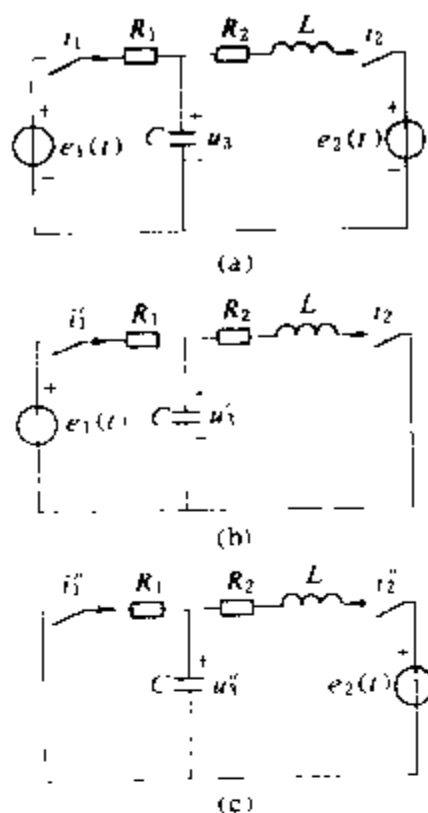


图2 记忆线性电路叠加定理示意图

(a) 电动势 e_1 、 e_2 同时作用；
(b) e_1 作用；(c) e_2 作用

例如如图2(a)所示的定常电路中含电感和电容，它是记忆线性电路（见动态电路分析）。图中有两个电动势 $e_1(t)$ 和 $e_2(t)$ 。电阻 R_1 、 R_2 和电感 L 、电容 C 是常数。电流 i_1 、 i_2 和电压 u_3 是响应。图2(b)、(c)示两个独立电源分别作用于该电路， i_1' 、 i_2' 、 u_3' 与 i_1'' 、 i_2'' 、 u_3'' 是对应的响应。在三个图中，两个开关合下之前，电容器的电压是零，从而上述所有响应都是零状态响应。三个图中的两个开关，都在初始时刻 t_0 时合下。由

叠加定理得

$$\begin{aligned} i_1(t) &= i_1'(t) + i_1''(t) \\ i_2(t) &= i_2'(t) + i_2''(t) \\ u_3(t) &= u_3'(t) + u_3''(t) \end{aligned}$$

应用举例 不对称三相正弦电压作用于线性三相电路时，首先将三相电压分解为正序、负序和零序三个对称分量组（见对称分量法）。然后用叠加定理分别计算出每个分量组作用下的响应，再将这些响应叠加就得到真实响应。

叠加定理和线性算子 对数学中的线性算子，由该算子的可加性和齐次性定义（见线性控制系统）可知：叠加定理适用于线性算子的变量是自然结论。因此，在任何技术学科里，只要所研究的变量之间由线性算子联系着，它们就服从叠加定理。

（肖达川）

dongtai cixing celiang

动态磁性测量 (dynamic magnetic characteristics measurement)

在交变磁场磁化下，磁性材料磁特性的测量。在电工领域内，磁场交变频率通常在工频到音频范围内。磁特性的测量主要包括动态磁化曲线、动态磁滞回线以及铁损、复数磁导率等的测量。

在交变磁场磁化下，铁芯中的涡流增加了铁芯损耗，也导致了磁通的趋肤效应，使铁芯中磁感应强度 B

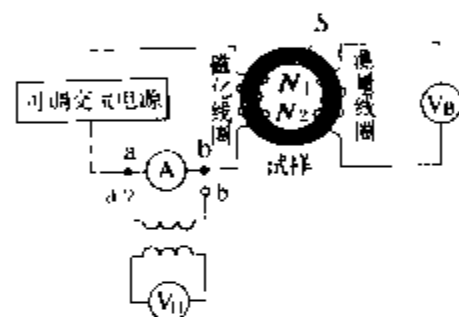
的分布不均匀。越靠近铁芯表面，磁感应强度越强，材料越容易达到饱和。在动态磁性测量中，通常测到的是试样的平均磁感应强度和表面处的磁场强度。

由于铁芯损耗和磁通趋肤效应，材料的动态磁特性比静态时复杂得多。它不仅与材料本身有关，还与试样厚度、磁化场的频率、测试时磁场强度和磁感应强度的波形以及测试方法有关。因此，对同一种材料或不同种材料应在相同条件下测量，以便于比较。动态磁性测量有伏安表法与示波器法，也可用动态磁性自动测量仪进行测量。

伏安表法测动态磁化曲线 测量线路如图所示。在环形试样上均匀绕以磁化线圈 N_1 及测量线圈 N_2 ， N_1 经过电流表接到可调交流电源， N_2 则与测量平均值的电压表 V_B 相连。根据电压表的示值 U_B 、测量线圈匝数 N_2 、交流电源频率 f 以及试样等效截面 S ，可计算出试样中磁感应强度的幅值 $B_m = U_B / (4fN_2S)$ 。

当磁化场为正弦形时，用有效值电流表 A 测量磁化电流 I ，则试样中

磁场强度的幅值为 $H_m = \sqrt{2} N_1 I / l$ ，其中 N_1 为磁化线圈匝数， l 为试样磁路的有效长度。当磁化电流为非正弦波电流时，需用互感为 M 的标准互感器及测量平均值的电压表 V_H 的组合来代替电流表 A （见图）。此时， $H_m = N_1 U_H / (4fMI)$ ，其中 U_H 是平均值电压表的示值。



伏安表法测动态磁化曲线接线图

调节交流电源的电压，可获得动态磁化曲线。这种方法的误差为 $\pm (3 \sim 10)\%$ 。

示波器法测动态磁滞回线 将环形试样均匀绕以磁化线圈和测量线圈。在磁化回路中串联一个取样电阻器，由此取出与磁化强度 H 有关的信号，并加到示波器 X 轴上。磁感应强度 B 的信号取自测量线圈。将测量线圈的感应电动势，经积分器加到示波器的 Y 轴。这样，在示波器的荧光屏上就展示出试样的动态磁滞回线。

示波器法线路简单，使用方便，可以在较宽的频率范围内直接观察和拍摄铁芯试样的磁滞回线，根据该回线还可确定材料的有关磁参量。此法不仅能用于环形试样，也能用于开磁路试样的测试。测量误差一般为 $\pm (7 \sim 10)\%$ 。

动态磁性自动测量仪测磁滞回线和磁化曲线 此法是采用电子积分器和采样保持环节，将快速变化的信号变换成为波形相似的缓慢变化信号，再用 $x-y$ 记

记录仪记下磁滞回线和磁化曲线。

(王德芳)

dongtai dianlu fenxi

动态电路分析 (dynamic circuit analysis)

对含有电容、电感等储能元件电路的分析和计算。

不含储能元件的电路称为电阻性电路。描述电阻性电路的方程是代数方程。它在任一时刻的响应只与该时刻的激励有关，而与该时刻以前的激励无关。因而，电阻性电路是“无记忆”的，或说是“即时的”。由于电容元件和电感元件的电压和电流关系都涉及对电流、电压的导数或积分，所以称为“动态元件”。含有这类元件的电路称为动态电路。描述动态电路的方程是微分方程或积分—微分方程。动态电路在任一时刻的响应与电路过去的历史情况（过去的激励和连接情况等）有关。例如，在动态电路中，即使输入从某一时刻起就不再起作用，但此后仍然可以有输出，因为输入曾经作用过，即动态电路是“有记忆”的。如果电路中电感器、电容器和电阻器都是线性非时变元件，则电路方程可归结为线性常系数微分方程。如果电路中含有非线性元件，则动态电路方程将是非线性微分方程。用 n 阶微分方程来描述的电路，称为 n 阶电路。

图中给出一个线性动态电路。电阻 R 、电感 L 和电容 C 都是线性非时变元件，它们相互串联。在 $t=0$ 时刻开关 S 闭合，使电路与电源接通。电源电压是 $u_s(t)$ ，电流为 i 。根据元件伏安特性和基尔霍夫定律可得电路方程

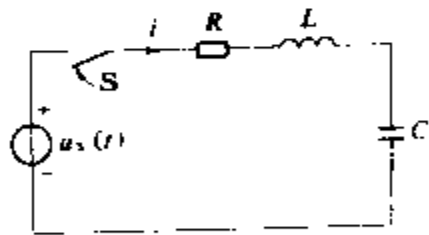
$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = u_s(t) \quad t \geq 0$$

$$\text{或} \quad L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{d}{dt} u_s(t) \quad t \geq 0$$

这是一个线性二阶常系数微分方程。

动态电路分析的

任务可归结为求解上述线性或非线性微分方程。微分方程中的变量可选择电压、电流、电荷、磁通量等电



路基本变量。这些变量都是时间 t 的函数。由上述微分方程求得的解答描述了电路基本变量随时间 t 的变化规律。直接在时间域内分析动态电路的研究方法称为时域分析。对于线性动态电路可借助拉普拉斯变换方法把电路微分方程的基本变量置于复频率域内进行研究，这种分析方法称为动态电路复频域分析。

根据线性电路的基本特性，往往将线性动态电路

的全响应分解为自由响应与强迫响应之和，或者分解为零输入响应与零状态响应之和。这种分解方法有利于使分析问题简化或便于进行某些物理解释。在动态电路分析中，研究电路对某些典型（基本）信号的响应具有重要意义。如电路对阶跃信号的响应（见阶跃响应），对冲激信号的响应（见冲激响应）等。

在动态电路中会出现过电流、过电压、振荡等现象。有些实际电路和电气设备就是基于这些现象而工作的，如振荡器等。在电力系统中往往要设法避免这些现象的出现，以防由此而引起的危害。此外，动态电路的基本规律又反映出一般动态系统（如机械系统、电力系统、自动控制系统等）的普遍规律。因此，了解动态电路的基本规律和基本分析方法不仅是必要的基础知识，又具有重要的理论和实际意义。

(郑君里)

dongtai dianlu tupinyu fenxi

动态电路复频域分析 (complex frequency-domain analysis of dynamic circuits)

用拉普拉斯变换方法分析动态电路。作为数学工具，拉普拉斯变换是一种积分变换。常用以求线性常系数微分方程和偏微分方程的解。线性非时变集总参数动态电路是用常系数线性微分方程描述的，线性非时变分布参数电路是由相应的偏微分方程描述的。因而，对于这些电路可借助拉普拉斯变换方法进行分析。

拉普拉斯变换的定义 拉普拉斯变换方法简称拉氏变换方法。拉氏变换可分为单边拉氏变换和双边拉氏变换。此处只介绍单边拉氏变换的定义。

设时间 t 的函数 $f(t)$ ，当 $t < 0$ 时 $f(t) = 0$ ，它的拉氏变换 $F(s)$ 定义为

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

其中 $s = \sigma + j\omega$ ， σ 、 ω 为实数， $j = \sqrt{-1}$ ， s 称为复频率。如果当 $\sigma > \sigma_0$ 时，上式的积分收敛，则 $f(t)$ 的拉氏变换存在。使以上关系成立的最小的 σ_0 值称为收敛坐标。 $F(s)$ 也称为 $f(t)$ 的象函数，而 $f(t)$ 称为 $F(s)$ 的原函数。给定一原函数 $f(t)$ ，可由定义式求其象函数；反之，由一象函数 $F(s)$ 可按下式求其原函数 $f(t)$

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s)e^{st} ds, c > \sigma_0$$

根据拉氏变换的定义式，可以求出不同的原函数 $f(t)$ 的象函数 $F(s)$ 。数学手册上制备有 $f(t)$ 和 $F(s)$ 对应关系的表以备查阅。表中所给出的是常用函数的拉氏变换关系。

拉普拉斯变换的一些基本性质 在利用拉氏变换方法分析动态电路时，借助拉氏变换的一些性质可使

常用函数的拉氏变换表

$f(t)$	$F(s)$	$f(t)$	$F(s)$
$u(t)$	$1/s$	$\delta(t)$	1
e^{-at}	$1/(s+a)$	$\sin \omega_0 t$	$\omega_0/(s^2 + \omega_0^2)$
$\cos \omega_0 t$	$s/(s^2 + \omega_0^2)$	t^n	$n! / s^{n+1}$

问题简化。其主要性质有：若 $\mathcal{L}[f_1(t)] = F_1(s)$, $\mathcal{L}[f_2(t)] = F_2(s)$, $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 则

(1) 线性：对任何常数 k_1, k_2 有

$$\mathcal{L}[k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t)] = k_1 F_1(s) + k_2 F_2(s)$$

(2) 对 t 微分：

$$\mathcal{L}\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = sF(s) - f(0)$$

(3) 对 t 积分：

$$\mathcal{L}\left[\int_0^t f(\tau) d\tau\right] = F(s)/s + f^{-1}(0)/s$$

式中 $f^{-1}(0) = \int_{-\infty}^0 f(\tau) d\tau$

(4) 延时：设 t_0 是正常数，有

$$\mathcal{L}[f(t-t_0)] = e^{-st_0} F(s)$$

(5) s 域平移：

$$\mathcal{L}[f(t)e^{-at}] = F(s+a)$$

(6) 尺度：设 a 是正常数，

$$\mathcal{L}[f(at)] = \frac{1}{a} F\left(\frac{s}{a}\right)$$

(7) 初值：若初值 $\lim_{t \rightarrow 0} f(t)$ 存在，则有

$$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$$

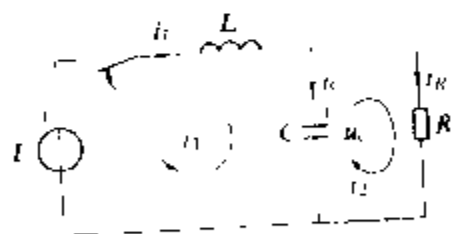
(8) 终值：若终值 $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$ 存在，则有

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$$

(9) 卷积：

$$\mathcal{L}\left[\int_0^t f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau\right] = F_1(s) F_2(s)$$

利用拉普拉斯变换分析电路的基本方法 电路如图



动态电路图

所示。已知 $E = 15V$, $L = 1H$, $C = 1F$, $R = \frac{2}{5} \Omega$; $t=0$ 时合闸，合闸前 $u_C(0)=0$, $i_L(0)=0$, 求 i_L , i_R , i_C 。结合上例介绍解题步骤如下：

(1) 列写电路微分方程：设回路电流 i_1, i_2 , 列回路方程

$$\begin{cases} L \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t (i_1 - i_2) dt + u_C(0) = E \\ -\frac{1}{C} \int_0^t (i_1 - i_2) dt - u_C(0) + Ri_2 = 0 \end{cases}$$

起始条件： $u_C(0)=0$, $i_L(0)=0$ 。

(2) 用拉氏变换将微分方程变换成相应的以象函数为变量的代数方程：设象函数 $I_1(s) = \mathcal{L}[i_1(t)]$, $I_2(s) = \mathcal{L}[i_2(t)]$ 。对微分方程中各项进行拉氏变换，得

$$\begin{cases} \left(Ls + \frac{1}{Cs}\right) I_1(s) - \frac{1}{Cs} I_2(s) = E/s \\ -\frac{1}{Cs} I_1(s) + \left(R + \frac{1}{Cs}\right) I_2(s) = 0 \end{cases}$$

代入参数数值

$$\begin{cases} \left(s + \frac{1}{s}\right) I_1(s) - \frac{1}{s} I_2(s) = 15/s \\ -\frac{1}{s} I_1(s) + \left(0.4 + \frac{1}{s}\right) I_2(s) = 0 \end{cases}$$

(3) 从代数方程中，解出象函数

$$I_1(s) = \frac{15(s+2.5)}{s(s^2+2.5s+1)}$$

$$I_2(s) = \frac{37.5}{s(s^2+2.5s+1)}$$

象函数一般为含 s 的有理函数，可展开为部分分式，得

$$\begin{cases} I_1(s) = 37.5/s + 2.5/(s+2) - 40/(s+0.5) \\ I_2(s) = 37.5/s + 12.5/(s+2) - 50/(s+0.5) \end{cases}$$

(4) 进行拉氏逆变换，将象函数 $I_1(s), I_2(s)$ 变换成原函数，可直接查表，得

$$\begin{cases} i_1(t) = 37.5 + 2.5e^{-2t} - 40e^{-0.5t} \text{ A} \\ i_2(t) = 37.5 + 12.5e^{-2t} - 50e^{-0.5t} \text{ A} \end{cases}$$

于是各支路电流为

$$\begin{aligned} i_L &= i_1, & i_R &= i_2, \\ i_C &= i_1 - i_2 = -10e^{-2t} + 10e^{-0.5t} \text{ A} \end{aligned}$$

(郑君里)

dongtai guihua

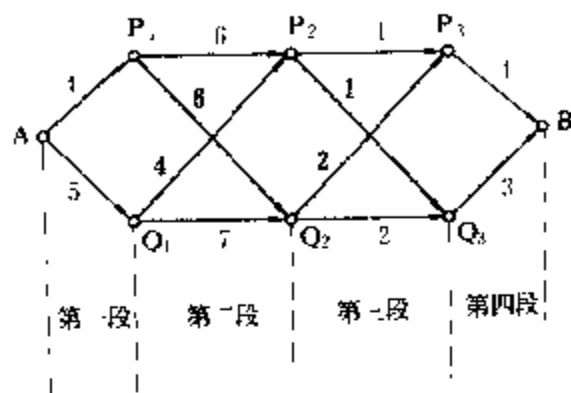
动态规划 (dynamic programming, DP)

控制向量 $u(t)$ 受限制的情况下求解最优控制问题的一种方法。与极小值原理类似，它克服了古典变分法求解最优控制问题的局限性，参见“变分法”。动态规划法是在 20 世纪 50 年代初由美国数学家 R.E. 贝尔曼 (R.E. Bellman) 提出的。

多段(级)决策问题及最优性原理 最短行车时间问题是多段决策问题的一个例子。如图示，从 A 行车至 B，全程分 4 段，中间站及各站间行车所需时间已分别标明。为使总的行车时间最短，在前三段分别要作一次决策。对于这样一个简单的问题，应用穷举法易知共有 8 种可能的行车路线。若段数增多，可能的行车路线数要急剧增加。

与上述的穷举法不同，用动态规划法解上述多段

决策问题的思路是:为最后找到由 A 到 B 的最优路线,先找出各站到终点 B 的最优路线。既然始自各站的最优路线都知道了,由 A 到 B 的最优路线也就找到了。



最短行程时间问题

动态规划法的基础和核心是最优性原理:多段决策过程的最优策略具有这样的性质,不论初始状态和初始决策如何,其余的决策对于由初始决策所形成的状态来说,必定也是一个最优策略。简言之,最优轨迹的后部,本身也是最优轨迹。

由动态规划法解得的上述行车问题的最优路线是 $AQ_1P_2Q_3B$,它与穷举法结果一致,但其运算量小。决策过程的段数多时,两法差别显著。

动态规划法用于离散系统最优控制 系统状态方程为

$$x(k+1) = f[x(k), u(k)], \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

式中 $x(k)$ 为 n 维状态向量; $u(k)$ 为 p 维控制向量。系统状态由 $x(0)$ 作起点进行 N 步转移,总的性能指标为

$$\begin{aligned} J_N &= J[x(0), u(0)] + J[x(1), u(1)] \\ &\quad + \dots + J[x(N-1), u(N-1)] \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} J[x(k), u(k)] \end{aligned} \quad (2)$$

现在要求选择 $\{u(0), u(1), \dots, u(N-1)\}$ 使性能指标 J_N 达最小,这是 N 段决策问题。根据最优性原理,不论第一段控制向量 $u(0)$ 怎样选定,余下的 $N-1$ 段过程,从 $u(0)$ 产生的状态 $x(1) = f[x(0), u(0)]$ 作为起点,应是最优的 $N-1$ 段过程。从最后一段开始,由后向前逆向递推,求得整个问题的解。

动态规划法用于连续系统最优控制 系统状态方程为

$$\dot{x} = f(x, u, t), \quad x(t_0) = x_0 \quad (3)$$

性能指标为

$$J = h[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} g(x, u, t) dt \quad (4)$$

$x(t_f)$ 为终端状态,求 $u^*(t)$ 使 $J^* = \min J$ 。

根据最优性原理,可以导出下列方程

$$-\frac{\partial J^*}{\partial t} = \min_{u \in U} \left\{ g(x, u, t) + \left(\frac{\partial J^*}{\partial x} \right)^T f(x, u, t) \right\} \quad (5)$$

求解使上式右端泛函最小的 $u(t)$,它依赖于 $x(t)$, $\frac{\partial J^*}{\partial x}$ 和 t ,记为

$$\tilde{u}(t) = \tilde{u} \left(x, \frac{\partial J^*}{\partial x}, t \right) \quad (6)$$

于是,式(5)又可表示为

$$-\frac{\partial J^*}{\partial t} = g(x, \tilde{u}, t) + \left(\frac{\partial J^*}{\partial x} \right)^T f(x, \tilde{u}, t) \quad (7)$$

上式称为哈尔顿-雅可比-贝尔曼方程。有些文献中,只以其中两人姓氏命名。

根据下式边界条件求解方程(7),求出 $J^*[x(t), t]$

$$J^*[x(t_f), t_f] = h[x(t_f), t_f] \quad (8)$$

再将解得的 $J^*[x(t), t]$ 代入式(6),就获得最优控制 $u^*[x(t), t]$,接着可求得 $x^*(t)$ 。

(于渤)

dongtai xitong bianshi

动态系统辨识 (dynamic system identification)

根据系统的输入输出时间函数来确定描述系统的数学模型,是现代控制理论的一个分支,亦称系统辨识。系统分析的主要问题是根据已知的系统数学模型,由输入时间函数确定输出信号。系统控制的主要问题是根据已知的系统数学模型,由要求的输出设计控制输入。系统辨识恰是来确定系统的数学模型。

建立系统的数学模型,通常有理论分析方法和试验方法两种。理论分析方法是根据系统内部已知的规律,用物理或化学的基本定律,直接推导出系统的数学模型。但有很多的复杂系统,其内部规律往往是不太清楚的,不能单靠用理论分析的方法来建立,必须用试验的方法,即系统辨识的方法才可能确定。

分类 按照系统先验知识的多少,辨识问题可分为黑箱问题和灰箱问题两类:①黑箱问题,也叫完全辨识问题。被辨识系统的基本特性是完全未知的,要辨识这类系统,目前尚无有效的办法。②灰箱问题,又叫不完全辨识问题。已知被辨识系统的一些基本特性,但不能确切地知道系统动态方程的阶次和方程式的系数。这样,系统辨识问题就简化成阶的辨识和参数估计了。

动态系统辨识的步骤 ①根据系统的性质及控制方法,确定系统数学模型的表示形式;②选择合适的辨识信号;③观测系统的输入输出数据,并进行参数或状态估计;④进行模型的校核试验。如果不合要求,则应另选一种模型,重复以上步骤,直至模型校核试验满意为止。

系统数学模型的表示形式 在动态系统的辨识中,最常用的数学模型表示形式有状态方程描述(包括微分方程组和差分方程组描述)和脉冲响应函数描述等。在前一种情况下,系统的动态特性可以用模型的参数来表征,故称为参数模型;后一种情况下,系统的动态特性是用响应曲线来表征的,称为非参数模型。

参数估计和状态估计 参数估计是数学模型的结构为已知的条件下,估计模型的未知参数。参数估计的方法很多,最基本的方法是最小二乘估计。估计准则是残差的平方和为最小。在时变系统的实时参数估计中,需要不断用新的观测数据来修改估计值,这称为递推最小二乘估计。当系统的模型用状态方程描述,而状态不能或难以测量时,需要对状态进行估计。对随机系统通常采用最小方差估计。估计准则是估计误差的方差为最小。当估计是观测的线性函数时,称为线性最小方差估计。此外,系统辨识的方法还有参数和状态估计的极大似然法和预报误差法、脉冲响应函数的相关分析法等。系统辨识还有模型结构的辨识,闭环系统辨识,非线性和多变量系统的辨识等。

参考书目

韩曾晋. 自适应控制系统. 北京: 机械工业出版社, 1983

吴广玉等. 系统辨识与自适应控制. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987

(蒋静坪)

dongtai xiangying

动态响应 (dynamic response) 控制系统对输入信号从初始状态到最终状态的响应过程。

经常采用的试验输入信号有阶跃函数、斜坡函数、抛物线函数、正弦函数和冲激函数等。这些信号都是简单的时间函数。利用它们可以分析控制系统。单位阶跃函数的表示式为

$$r(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$$

单位斜坡函数的表示式为

$$r(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ t, & t > 0 \end{cases}$$

单位冲激函数的表示式见冲激响应。

图1所示为一控制系统对单位阶跃函数的动态响应过程,图中表明了下列性能指标:

(1) 延迟时间 t_d : 响应曲线第一次达到稳态值的一半所需时间。

(2) 上升时间 t_r : 响应曲线从稳态值的10%上升到90%,或从5%上升到95%,或从0上升到100%所

需的时间。

(3) 峰值时间 t_p : 响应曲线达到过调量的第一个峰值所需的时间。

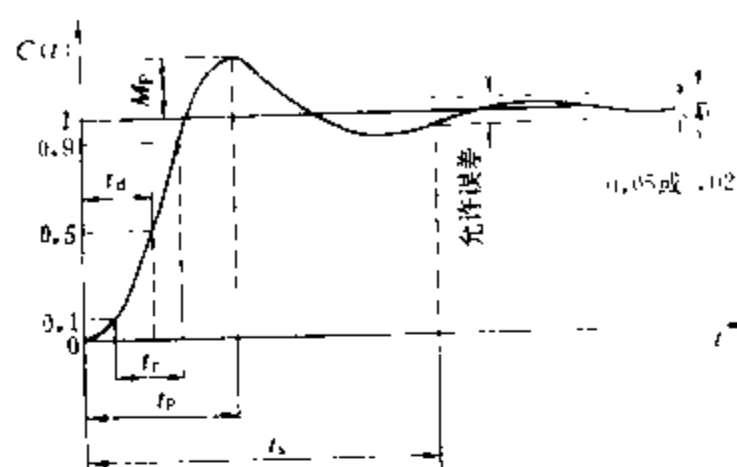


图1 表示性能指标的单位阶跃响应曲线

(4) 超调量 M_p : 响应曲线的最大偏差值(响应曲线的最终稳态值作为1,以其作为基准)。若响应曲线的最终稳态值不为1,则百分比超调量 = $\frac{C(t_p) - C(\infty)}{C(\infty)} \times 100\%$ 。

(5) 响应时间 t_s : 系统受到扰动作用后从一个平衡状态到达新的平衡状态所经历的时间,也就是动态过程所经历的时间。一般,当输出量与其稳态值之差达到了而且不再超过一允许误差范围(通常取稳态值的5%或2%)时,认为动态过程结束。

一阶系统的动态响应 图2(a)所示为一阶系统

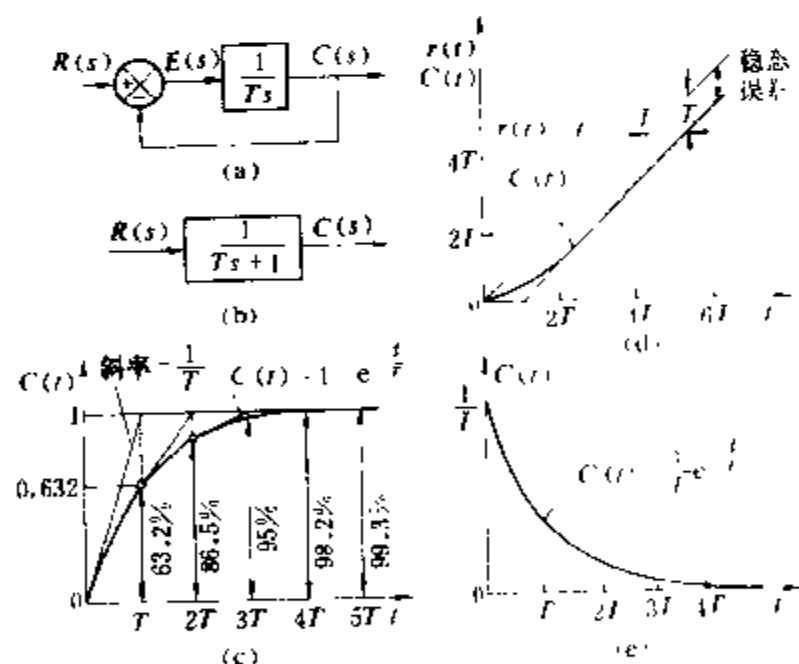


图2 一阶系统及其动态响应

(a) 框图; (b) 简化框图; (c) 单位阶跃响应; (d) 单位斜坡响应; (e) 单位冲激响应

的框图,图2(b)为其简化框图。系统的输入-输出关系为 $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts+1}$ 。图2(c)所示为单位阶跃响应,其表达式为 $C(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} (t \geq 0)$ 。图2(d)所示为单位斜坡

响应,其表达式为 $C(t)=t-T+Te^{-\frac{t}{T}}(t \geq 0)$ 。图 2(e) 所示为单位冲激响应,其表达式为 $C(t)=\frac{1}{T}e^{-\frac{t}{T}}(t \geq 0)$ 。

二阶系统的动态响应 图 3(a) 所示为二阶系统的框图。系统的输入-输出关系亦即闭环传递函数为

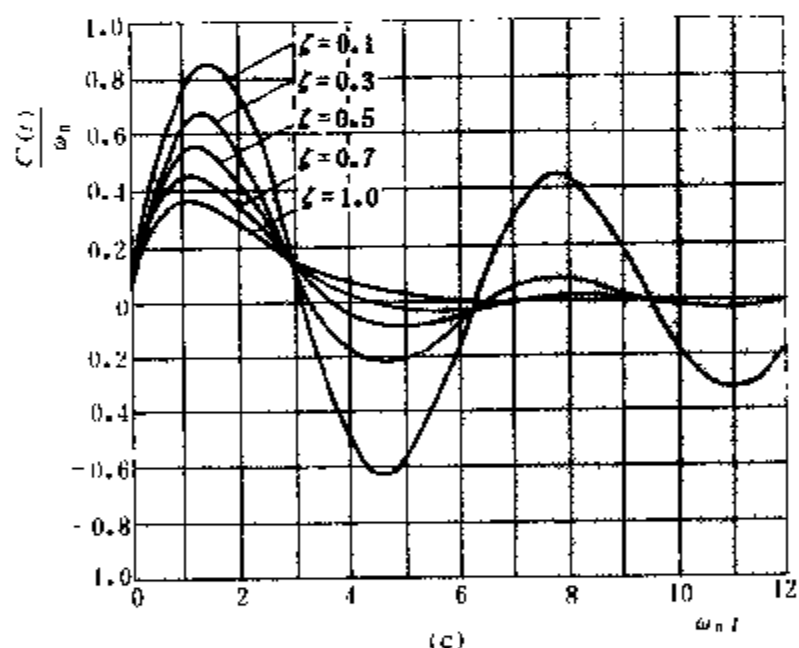
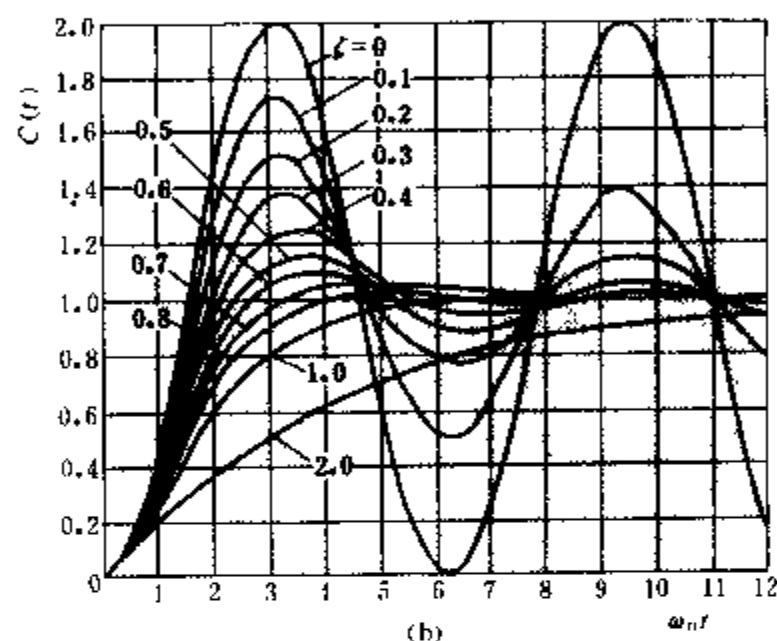
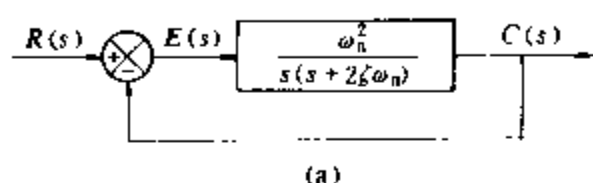


图 3 二阶系统及其动态响应

(a) 框图; (b) 单位阶跃响应; (c) 单位冲激响应

$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$, 式中, ζ 为系统的阻尼比, ω_n 为无阻尼自然频率。有以下几种情况。

- (1) 欠阻尼情况 ($0 < \zeta < 1$): 这是衰减振荡。
- (2) 临界阻尼情况 ($\zeta = 1$): 动态响应是非周期的。
- (3) 过阻尼情况 ($\zeta > 1$): 动态响应是非周期的。
- (4) 欠阻尼情况 ($\zeta = 0$): 这是不衰减振荡。
- (5) 不稳定情况 ($\zeta < 0$): 振幅渐增的振荡, 系统不稳定。图 3(b) 所示为二阶系统的单位阶跃响应, 图 3(c) 所示为单位冲激响应。

高阶系统的动态响应 经过推导和整理, 可以得出, 高阶系统的响应是由若干个一阶系统和二阶系统的响应函数总加而得的。

如果一个稳定系统的极点和零点的分布符合如下的情况: 左半复平面上离虚轴最近的是一对共轭复极点, 它们的附近没有零点; 系统的其他极点, 有的恰有邻近的零点, 有的又在上述这对极点左方很远的地方, 就可以把这对离虚轴最近的极点视为主导极点, 并把其他极点和零点的作用都略去不计。这样, 就把高阶系统近似化为一个二阶系统, 其动态特性主要就由这一对主导极点决定。

参考书目

绪方胜彦著, 现代控制工程, 卢伯英等译, 北京: 科学出版社, 1978

(邱家驹)

duanlu

短路 (short circuit) 电路中在正常情况下处于不同电压下的两个或多个点之间, 通过比较低的电阻或阻抗偶然或有意形成的连接。在短路状态下, 该支路两端的电压近于零 (理想情况下为零), 支路中的电流值, 基本上由外部电路参数所决定。

在电力系统中, 短路也常表示一种非正常的工作状态。如在运行中相与相之间或相与地之间发生的非正常连接, 或由于设备绝缘击穿而造成的短路事故, 都会引起很大的短路电流, 使导线或设备损坏。因此, 短路事故是应该力求避免的。

(龚绍文)

duichen fenliangfa

对称分量法 (method of symmetrical components) 将不对称的三个相量分解为正序、负序、零序对称分量组, 用来计算线性对称三相电路不对称运行状态的一种方法。这种方法常用来计算故障情况下含有旋转电机的不对称三相电路。

正序、负序和零序对称分量组 以三相电压为例, 对称分量组包括下列三种类型。

(1) 正序对称分量组 $\dot{U}_A^+, \dot{U}_B^+, \dot{U}_C^+$: 三者大小相等, 相位上 \dot{U}_B^+ 落后 \dot{U}_A^+ 120° , \dot{U}_C^+ 落后 \dot{U}_B^+ 120° , 见图 1(a)。可记为 $\dot{U}_B^+ = \alpha^2 \dot{U}_A^+$, $\dot{U}_C^+ = \alpha \dot{U}_A^+$ ($\alpha = \angle 120^\circ = \angle -240^\circ$, $\alpha^2 = \angle 240^\circ = \angle -120^\circ$)

(2) 负序对称分量组 $\dot{U}_A^-, \dot{U}_B^-, \dot{U}_C^-$: 三者大小相等, 相位上 \dot{U}_B^- 领先 \dot{U}_A^- 120° , \dot{U}_C^- 领先 \dot{U}_B^- 120° , 见图 1(b)。可记为 $\dot{U}_B^- = \alpha \dot{U}_A^-$, $\dot{U}_C^- = \alpha^2 \dot{U}_A^-$ 。

(3) 零序对称分量组 $\dot{U}_A^0, \dot{U}_B^0, \dot{U}_C^0$: 三者大小相等,

相位上同相，见图 1 (c)。可记为 $\dot{U}_A^0 = \dot{U}_B^0 = \dot{U}_C^0$ 。

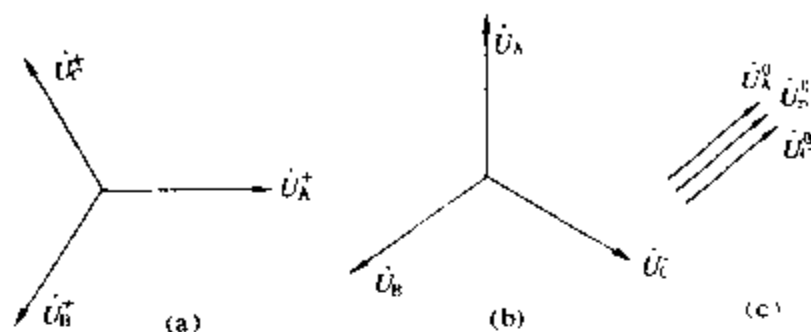


图 1 对称分量组
(a) 正序对称分量；(b) 负序对称分量；
(c) 零序对称分量

不对称三相相量的正序、负序、零序对称分量组

若将图 1 中每相的三个对称分量相加，即

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_A^+ + \dot{U}_A^- + \dot{U}_A^0 \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_B^+ + \dot{U}_B^- + \dot{U}_B^0 = \alpha^2 \dot{U}_A^+ + \alpha \dot{U}_A^- + \dot{U}_A^0 \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_C^+ + \dot{U}_C^- + \dot{U}_C^0 = \alpha \dot{U}_A^+ + \alpha^2 \dot{U}_A^- + \dot{U}_A^0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

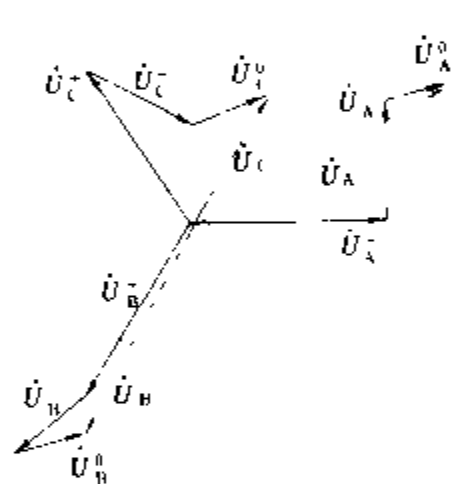


图 2 不对称三相电压
及其对称分量

则 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ 是一组不对称的三相电压，见图 2。反之，任一组三相不对称电压 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ 可理解为是它们的正序、负序和零序对称分量组的合成。若已知不对称三相电压 \dot{U}_A, \dot{U}_B 和 \dot{U}_C ，并以

$\dot{U}_A^+, \dot{U}_A^-, \dot{U}_A^0$ 代表三个对称分量组的基本相量，则可求得

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A^+ &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \alpha \dot{U}_B + \alpha^2 \dot{U}_C) \\ \dot{U}_A^- &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \alpha^2 \dot{U}_B + \alpha \dot{U}_C) \\ \dot{U}_A^0 &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

当 $\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$ 时， $\dot{U}_A^0 = 0$ 。所以，不对称三相线电压和三相三线制中的不对称三相线电流都不含有零序分量组。

用对称分量法计算不对称三相电路 分以下两种情况。

不对称三相电源作用于对称三相负载 以有中线的 Y—Y 三相电路为例，见图 3 (a)，其求解步骤如下：

(1) 将不对称三相电源相电压 $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ 分解为

正序、负序、零序对称分量组，按式 (2) 可求得其基本相量 $\dot{U}_A^+, \dot{U}_A^-, \dot{U}_A^0$ 。

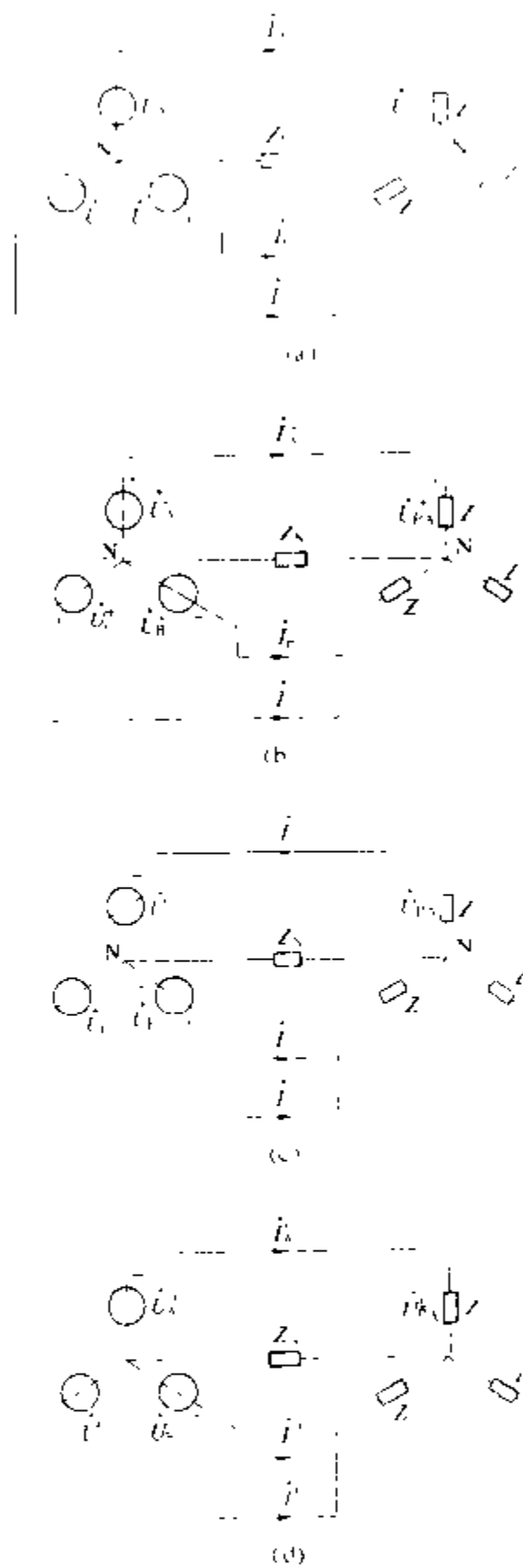


图 3 Y—Y 三相电路及其三个对称分量的三相电路

(a) Y—Y 三相电路；(b) 正序对称分量的三相电路；(c) 负序对称分量的三相电路；(d) 零序分量的三相电路

(2) 利用叠加定理，分别计算电源相电压的正序、负序、零序对称分量组单独作用下的三相电路，见图 3 (b)、(c)、(d)。就每个对称分量的三相电路而言，电路是对称的（见对称三相电路）。可方便地利用对称条件求出线电流和相电压的各对称分量的基本相量：

$$\dot{I}_A^- = \dot{U}_A^+ / Z^+, \dot{I}_A^- = \dot{U}_A^- / Z^-$$

$$\dot{I}_A^0 = \dot{U}_A^0 / (Z^0 + 3Z_N)$$

$$\dot{U}_{PA}^+ = \dot{I}_A^+ Z^+, \dot{U}_{PA}^- = \dot{I}_A^- Z^-$$

$$\dot{U}_{PA}^0 = \dot{I}_A^0 Z^0$$

式中 Z_N 是中线阻抗; Z^+ 、 Z^- 、 Z^0 分别是对称三相负载的正序、负序和零序阻抗, 随三相负载的类型而异。在正序、负序和零序三相电流作用下, 它所反映出的阻抗可能是互不相等的。例如对三相电动机: $Z^+ \neq Z^- \neq Z^0$, 它们可以通过试验来确定。

(3) 将求出的各对称分量合成, 求出待求的三相不对称电流、电压。其中

$$\dot{I}_A = \dot{I}_A^+ + \dot{I}_A^- + \dot{I}_A^0$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_B^+ + \dot{I}_B^- + \dot{I}_B^0 = \alpha^2 \dot{I}_A^+ + \alpha \dot{I}_A^- + \dot{I}_A^0$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_C^+ + \dot{I}_C^- + \dot{I}_C^0 = \alpha \dot{I}_A^+ + \alpha^2 \dot{I}_A^- + \dot{I}_A^0$$

$$\dot{U}_{PA} = \dot{U}_{PA}^+ + \dot{U}_{PA}^- + \dot{U}_{PA}^0$$

$$\dot{U}_{PB} = \dot{U}_{PB}^+ + \dot{U}_{PB}^- + \dot{U}_{PB}^0 = \alpha^2 \dot{U}_{PA}^+ + \alpha \dot{U}_{PA}^- + \dot{U}_{PA}^0$$

$$\dot{U}_{PC} = \dot{U}_{PC}^+ + \dot{U}_{PC}^- + \dot{U}_{PC}^0 = \alpha \dot{U}_{PA}^+ + \alpha^2 \dot{U}_{PA}^- + \dot{U}_{PA}^0$$

对称三相电源作用于不对称三相负载。在对称三相电路中, 如三相负载发生故障可引起三相负载的不对称。在这种情况下, 也可设法把这类电路转化为等效的不对称三相电源作用于对称三相负载的电路, 然后利用上述的对称分量法来求解。对称分量法也可以扩展用于线性 m 相不对称电路 (见多相电源)。

参考书目

Charles A. Gross. Power System Analysis, 2nd edition. John Wiley and Sons, 1986

(范丽娟)

duichen sanxiang dianlu

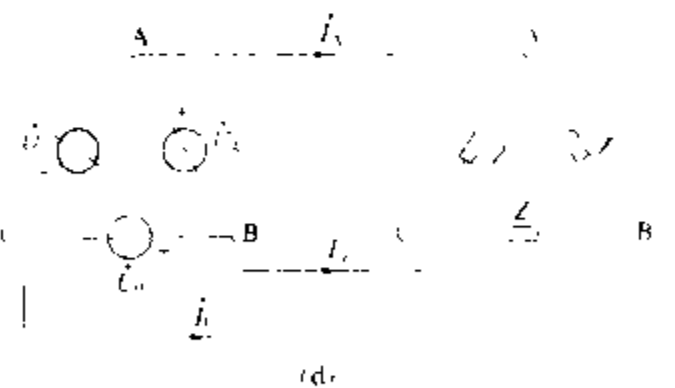
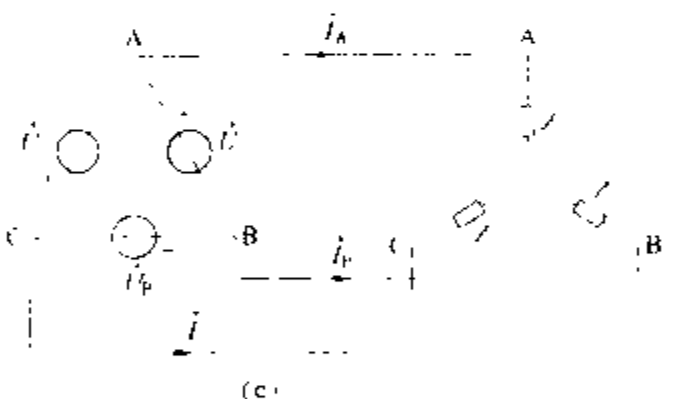
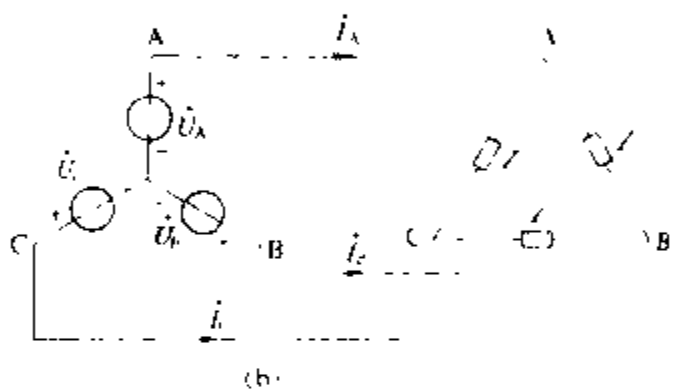
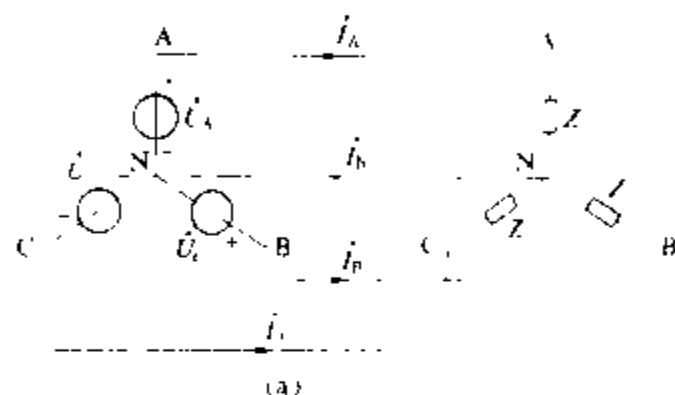
对称三相电路 (symmetrical three-phase circuit)

由对称三相电源和对称三相负载组成的电路。电力系统在正常工作时, 可近似认为是对称三相电路。

对称三相电路分类 三相电源可接成星形或三角形, 三相负载也可接成星形或三角形。所以三相电路有如图所示的四种基本连接方式: 星形电源—星形负载 (Y—Y); 星形电源—三角形负载 (Y— Δ); 三角形电源—星形负载 (Δ —Y); 三角形电源—三角形负载 (Δ — Δ)。后三种的电源和负载之间只可有 三根引线相连, 这种连接称为三相三线制。但 Y—Y 连接方式可采用三相三线制和三相四线制。当电源中性点 (见三相电源) 和负载中性点 (见三相负载) 之间用导线连接时, 连接两中性点的导线称为中线, 有中线的三相电路称三相四线制电路。

对称三相电路分析 在对称三相电路中, 若电源的相电压为正序对称组 (见对称分量法), 则所有的三相线电压和相电压、三相线电流和相电流均为正序对称组。分析这种电路只要计算一相 (例如 A 相的电压、电流), 其他相的电压、电流可以按正序对称组的特点直接写出。以 Y—Y 有中线的三相电路为例。A 相电流为

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z}$$



对称三相电路的四种基本连接方式

(a) Y—Y; (b) Δ —Y; (c) Y— Δ ;

(d) Δ — Δ ; Z—负载阻抗

B 相和 C 相电流与 A 相电流大小相等, 相位互差 120° , 即

$$\dot{I}_B = \alpha^2 \dot{I}_A, \dot{I}_C = \alpha \dot{I}_A$$

式中, α 、 α^2 为复数算子, $\alpha = 1 \angle 120^\circ$, $\alpha^2 = 1 \angle 240^\circ = 1 \angle -120^\circ$ 。

中线电流 $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$, 即中线电流为零, 中线形同虚设, 如果去掉中线 (Y—Y 无中线), 电路工作情况不受影响。因此, Y—Y 接法在三相对称时采用三线制, 只是在三相不对称时才采用有中线的三相四线制 (见不对称三相电路)。

对其他三种基本接法的对称三相电路, 可以采用类似的方法进行分析。一种行之有效的方法是采用 Y— Δ 等效变换的方法来简化电路结构。对于三相负载, 可把对称三角形负载转换为等效对称星形负载 (或反之); 其变换关系为 $Z_{(Y)} = \frac{1}{3} Z_{(\Delta)}$ 。这里, $Z_{(\Delta)}$ 和 $Z_{(Y)}$ 分别为三角形负载阻抗和星形负载阻抗 (见星接阻抗和三角接阻抗的变换)。对于三相电源, 可将对称三角形电源转换成对称星形电源 (或反之); 其变换关系为 $\dot{U}_{A(Y)} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{A(\Delta)} \angle -30^\circ$ (见线电压), $\dot{U}_{B(Y)} = \alpha^2 \dot{U}_{A(Y)}$

和 $\dot{U}_{C(Y)} = \alpha \dot{U}_{A(Y)}$ 。这里, $\dot{U}_{A(\Delta)}$ 为对称三角形电源的 A 相电压; $\dot{U}_{A(Y)}$ 、 $\dot{U}_{B(Y)}$ 、 $\dot{U}_{C(Y)}$ 分别是等效对称星形电源的 A 相、B 相和 C 相的电压。

利用上述方法, 可将图 (b), (c), (d) 中的各种接法分别转换为等效的 Y—Y 接法, 然后求出其线电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 。

对于三相对称负序电路可采用类似方法进行分析。

(范丽娟)

duishu tangdaqi

对数放大器 (logarithmic amplifier) 能实现输出电压是输入电压的对数函数的放大电路。它

广泛用于控制和检测系统中, 例如要实现两个信号的乘积, 就可以分别取它们的对数, 相加后再取其反对数; 又如当输入信号的变动范围很大时, 应用对数放大器, 它的输出电压的变动范围就可以相对压缩。

工作原理 图 1 为基本的

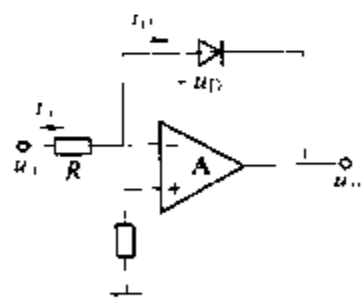


图 1 基本的对数放大器

对数放大器电路, 设运放 A 为理想元件, 则按虚短和虚断的概念 (见加法器) 可知, 反相输入端为“虚地”。于是 $I_D = I_i$, 而 $I_i = \frac{U_i}{R}$ 故 $I_D = \frac{U_i}{R}$ 。由二极管 PN 结方程 $I_D = I_S (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1)$ (式中 I_S 为二极管的反向饱和

和电流; U_T 为 PN 结的热电压又称温度电压当量, $U_T = \frac{kT}{q}$, 其中 k 为波耳兹曼常数, T 为绝对温度, q 为电子的电量; 当 $T = 300K$ 时, $U_T \approx 26mV$), 当 $U_D \gg U_T$

时, 可得 $I_D \approx I_S e^{\frac{U_D}{U_T}}$, 即 $\frac{U_i}{R} = I_S e^{\frac{U_D}{U_T}}$, 又因 $U_o = -U_D$ 。

代入上式得 $\frac{U_i}{R} = I_S e^{-\frac{U_o}{U_T}}$, 两边取对数得

$$U_o = -U_T \ln \frac{U_i}{R I_S} \quad (1)$$

式 (1) 表明电路的输出电压 U_o 正比于 $(U_i / R I_S)$ 的对数。式 (1) 右边包含二个与温度有关的量, 一个是 $U_T = \frac{kT}{q}$, 另一个是 I_S , 当室温变化时, U_o 将产生漂移; 其次, 式 (1) 只有当 $U_D \gg U_T$ 时才是比较正确的, 当 U_D 较小时, 式 (1) 将引入较大的误差。再次, 当 U_D 较大时, 公式 $I_D = I_S (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1)$ 将偏离实际值较大, 这是因为二极管的体电阻上压降随着 I_D 的增加而增加的缘故。为此, 为了减小误差, 可采用图 2 所示电路。

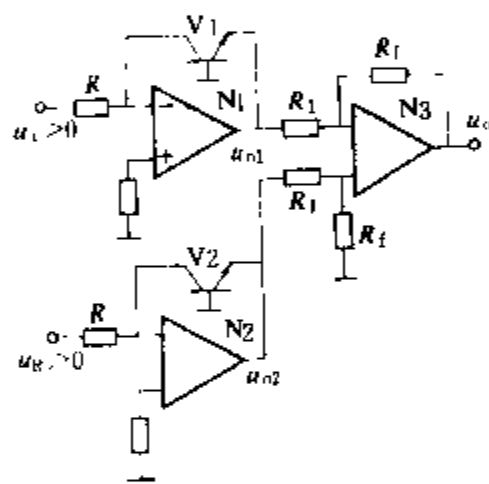


图 2 改进的对数放大器

图 2 的改进点是: 用接成二极管的晶体管 V1 和 V2 代替图 1 中的二极管; V1 的集电极接运算放大器 N1 的虚地点, 所以 V1 的集电极和基极均为地电位, 故 V1 可看作是接成二极管的晶体管, 只是

$U_{CB} \approx 0$ 而不等于零, 还有一些电流放大作用而已, 故得

$$U_{o1} = -U_T \ln \frac{U_i}{R I_S} \quad (2)$$

图 2 中, U_R 是恒定的参考电压, 同理可得

$$U_{o2} = -U_T \ln \frac{U_R}{R I_S} \quad (3)$$

若 V1 与 V2 是同一芯片上的二个晶体管, 则可认为 U_T 和 I_S 均相同, 故得

$$U_o = \frac{R_f}{R_1} (U_{o2} - U_{o1}) = \frac{R_f}{R_1} U_T \ln \frac{U_i}{U_R} \quad (4)$$

可见输出电压 U_o 与输入电压 U_i 呈对数关系。式 (4) 中仍含与温度有关的 U_T , 如欲消除 U_T 的温度影响, 可利用热敏电阻效应使 $\frac{R_f}{R_1} U_T$ 或为不随温度变化的一个恒定系数, 即 R_f 具有合适的负温度系数, 或 R_1 具有合适的正温度系数。由图 1 和图 2 还可看出, U_i 和

U_R 必需为正值, 否则, 作为二极管用的晶体管 V1 和 V2 将因 PN 结反偏而截止, 运算放大器 N1 和 N2 将开环工作, 输出电压 U_{o1} 或 U_{o2} 将等于 N1 或 N2 的电源电压。

反对数放大器 因反对数放大器是对数放大器的逆运算, 所以, 只要将图 1

中的二极管和电阻 R 互相换位即可。电路如图 3 所示。因反相端为虚地, 故

$$I_i = I_D \approx I_{Se} \frac{U_i}{U_T} = I_i, \text{ 输出}$$

$$\text{电压 } U_o \text{ 为 } U_o = -I_i R = -RI_{Se} \frac{U_i}{U_T}, \text{ 即 } \frac{U_o}{RI_{Se}} =$$

$$-e \frac{U_i}{U_T}, \text{ 两边取自然对数 } \ln \frac{U_o}{RI_{Se}} = -\frac{U_i}{U_T}, \text{ 故得 } U_o =$$

$$-RI_{Se} \ln^{-1} \frac{U_i}{U_T}.$$

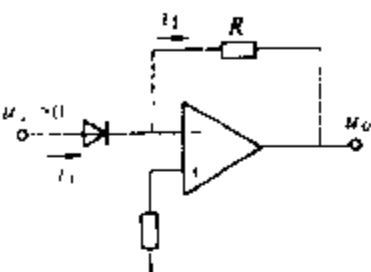
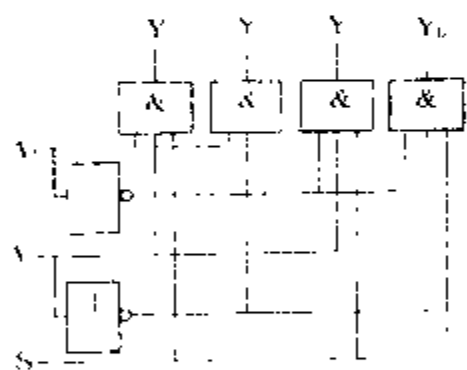


图 3 反对数（指数）放大器原理图

(何金茂)

duolu fenpeiqi

多路分配器 (demultiplexer) 根据输入控制信号的不同状态, 将需要传送的信号送到选定的输出端去的组合逻辑电路。这里控制信号又称地址信号。广泛用于计算机及控制电路中。



四线多路分配器的逻辑图

图示是一个四线多路分配器的逻辑图, 其中 A_1, A_0 是输入控制端, S 是数据输入端, Y_3, Y_2, Y_1, Y_0 是四个输出端。从电路的功能表 (见表) 可见, 通过给定 A_1, A_0 的不同状态, 即可把 S 端的输入数据送到选定的一根输出线上去。

如果把 S 端作为附加控制端使用, 并令 $S=1$, 则 $Y_3 \sim Y_0$ 将只取决于 A_1, A_0 的状态, 这个电路也就是一个带附加控制端的 2 线—4 线译码器 (见译码器)。因此, 也把带附加控制端的译码器叫做多路分配器。

图中电路的功能表

A_1	A_0	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
0	0	0	0	0	S
0	1	0	0	S	0
1	0	0	S	0	0
1	1	S	0	0	0

(阎 石)

duolu xuanzeqi

多路选择器 (multiplexer) 根据输入控制信号的不同状态, 从一组输入信号中选出其中一个并将其送至输出端的逻辑电路, 又称数据选择器 (data selector) 或多路调制器。

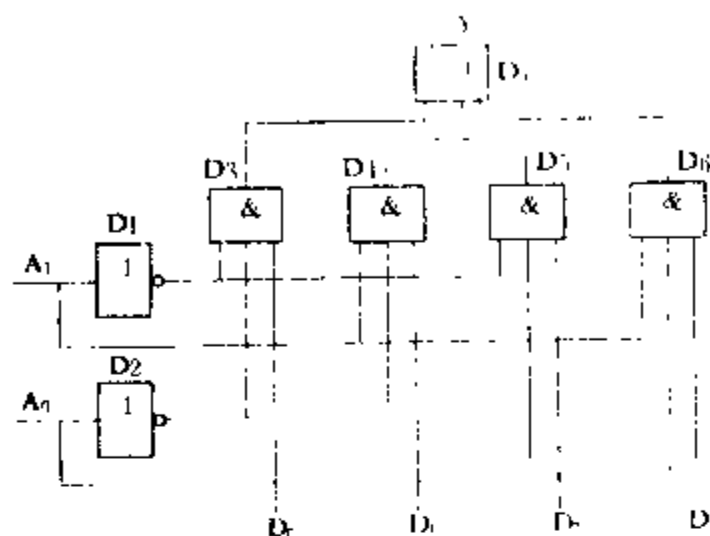


图 1 “四选一”多路选择器的逻辑图

图 1 是“四选一”多路选择器的逻辑图。其中 D_0, D_1, D_2, D_3 是四个输入数据, Y 为输出, A_0, A_1 为输入控制信号 (亦称地址信号)。由表中可见, 通过给定 A_0, A_1 的不同状态, 即可从 $D_0 \sim D_3$ 这四个数据中选出其中一个, 并使之出现在输出端上。

电路的功能表

A_0	A_1	Y
0	0	D_0
0	1	D_1
1	0	D_2
1	1	D_3

多路选择器不仅可以用于数据选择, 还可以用于产生任意的组合逻辑函数。由表可知, 若将 Y 写成 A_0, A_1 及 $D_0 \sim D_3$ 的逻辑函数时, 则得

$$Y = \bar{A}_0 \bar{A}_1 D_0 + \bar{A}_0 A_1 D_1 + A_0 \bar{A}_1 D_2 + A_0 A_1 D_3$$

如果将 A_0, A_1 视为两个输入逻辑变量, 同时将 $D_0 \sim D_3$ 视为第三个输入逻辑变量 A_2 的不同状态, 则只要根据要求把 D_0, D_1, D_2 和 D_3 分别接到 A_1, A_2 或 0, 1 的某一状态, 便可获得任何形式的三变量逻辑函数。

例如, 为了得到

逻辑函数 $Y = \bar{A}_0 \bar{A}_1 A_2 + \bar{A}_0 A_1 A_2 + A_0 \bar{A}_1 A_2$, 则只需令 $D_0 = \bar{A}_2, D_1 = A_2, D_2 = 0, D_3 = A_2$ 即可。电路的具体连接方法见图 2。

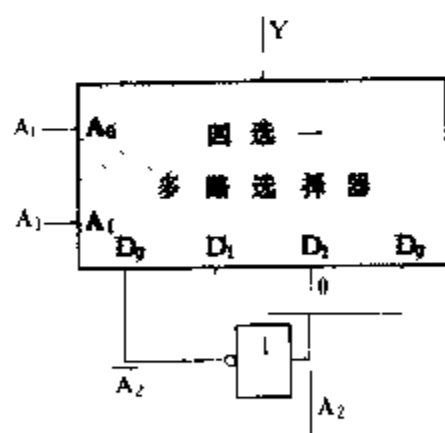


图 2 用多路选择器产生逻辑函数的例子

(阎 石)

duoxing dianyuan

多相电源 (polyphase sources) 能够同时提供 m 个频率相同而初相位互异的电压的电源。 m 为电源的相数, 当 $m=3$ 时就是三相电源。

m 相电源的连接方式 ($m \geq 3$) 有星形连接和多角形连接两种。

星形连接 各相线圈的始端分别与端线相接, 它们的末端则连成一个公共端 N 的一种连接方式。 N 叫做 m 相电源的中性点。

多角形连接 每一相线圈的始端与紧邻的前一相线圈的末端相连后再接到端线的一种连接方式。 $m=3$ 时, 它就变成三角形连接。

相序 电源的 m 相相电压通过具有相同斜率的同一值的次序。它可以是正序, 也可以是负序(见三相电源)。

对称的 m 相电源 $m(m \geq 3)$ 个相电压同时满足: ①有效值一样; ②每相邻两相的相位差也一样(例如, $360^\circ/m$ 的 m 相电源)。①和②是任何对称 m 相的相电压、线电压、相电流和线电流必须满足的两个条件。

星形连接时线电压(线电流)和相电压(相电流)间的关系 线电流等于对应的相电流。若 m 相线电压和 m 相相电压均为正序(负序)对称组, 则线电压的有效值为相电压有效值的 $2\sin \frac{\pi}{m}$ 倍。

多角形连接时线电压(线电流)和相电压(相电流)间的关系 线电压等于对应的相电压。若 m 相线电流和 m 相相电流均为正序(负序)对称组, 则线电流的有效值为相电流有效值的 $2\sin \frac{\pi}{m}$ 倍。

多相制 由多相电源和多相负载连接而成的多相电路。它有对称和不对称多相制之分(见对称三相电路)。当 $m=1$ 时, 它就是单相制。与单相制比较, 多相制的优点为: ①在相同的输电条件(电压、输电距离和输电效率都一样)下, 输送一定的负荷功率, 多相制的端线用铜量少(三相制节省 25%); ②在相同的容量下, 多相电机比单相电机尺寸小, 材料省; ③对称多相制下, 多相电机的瞬时功率与时间无关, 电机运行平稳; ④对称多相电流可以产生旋转磁场, 使所设计的多相电动机结构较简单, 便于维修等。

在电力系统中, 广泛使用三相制。近年来, 为了提高传输效益, 已注意使用 $m > 3$ 的多相制, 特别是六相制、十二相制, 它们可以提高端线的热加载容量和传输效率, 降低相间绝缘水平以及端线受到的应力。

通常, 二相电源(它的两相绕组在空间间隔 90°) 多用于低压反馈系统中, 用来驱动控制用的二相伺服电机; 六相和十二相以及更多相的多相电源则常用在电力电子整流系统中, 为了向负载提供一个低纹波的直流电源。

参考书目

Weedy B. M. Electric Power Systems, 3rd Edition. John Wiley and Sons, 1987

Jackson. Introduction to electric circuit, 4th Edition. Prentice-Hall Co., 1976

俞大光. 电工基础(修订本). 北京: 人民教育出版社, 1981

(范丽娟)

E

EBCDIC ma

EBCDIC 码 (EBCDIC code) 见代码。

erduankou

二端口 (2-port) 有两个端子对的电网络。每个端子对(即一对端子)称作端口,而且从端口的一个端子流入网络的电流必须等于从另一个端子流出的电流。表示二端口的图形见图1。图中,端子对1和1'构成一个端口,从端子1流入网络的电流和从端子1'流出的

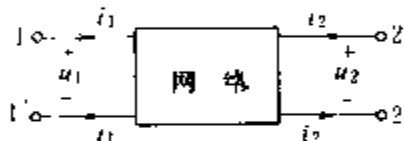


图1 二端口

的电流都是 i_1 。 i_1 就是端口1 1'的端口电流。端子对2和2'构成另一个端口,端口电流是 i_2 。 u_1 、 u_2 是两个端口电压。任何电路或电工设备,例如变压器(图2)和双线传输线(图3),如果只对它的两对端子的电流、电压感兴趣时,都可以看成二端口。

图2 当作二端口的变压器

二端口和四端网络的区别 图1中流入、流出同一个端口的电流规定相等。由于有此限制,因此通常不允许在端口1 1'外部和端口2 2'外部之间再有电的连接,例如一般不允许在端子1和2之间跨接阻抗。如果取消对电流的限制,图1所示网络就称作四端网络,这时可以在任意两个端子之间连接阻抗。二端口是四端网络的一个特殊情况。

二端口分类 二端口按电路元件的性质有非时变和时变、线性和非线性之分。(见电路元件)

(1)非时变二端口:网络中只含非时变电路元件的二端口是非时变二端口。

(2)时变二端口:一般讲来,网络中含时变电路元件的二端口是时变二端口。

(3)线性二端口:网络中只含线性电路元件的二端口是线性二端口。

(4)非线性二端口:一般讲来,网络中含非线性电路元件的二端口是非线性二端口。

线性非时变二端口是基本的二端口。它又含两个子类。①互易二端口。网络中只含互易电路元件,即不含受控源的二端口是互易二端口。②非互易二端口。一般讲来,网络中含非互易电路元件(例如受控源)的二端口是非互易二端口。

线性非时变二端口的端口电流和端口电压之间的关系 二端口有四个端口量,即端口电压 u_1 、 u_2 和端口电流 i_1 、 i_2 。一般地,其中的某两个可以由另外两个表示出。对于线性非时变二端口,在正弦电流稳态下,端口电压、电流分别用相量 \dot{U}_1 、 \dot{U}_2 和 \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 表示。这时,它们中的两个可由另外两个的线性关系表示。表1列出了四组电流、电压关系和表示这些关系的四种参数名称。每种表示里有四个参数。若二端口是互易的,例如网络中只含电阻、电感、电容元件时,参数间还存在另一关系,见表1的最后一列。表1中的参数由网络内部元件决定。

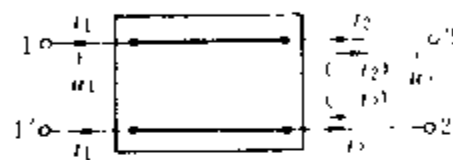


图3 当作二端口的双线传输线

表1 线性非时变二端口的电流、电压关系和参数

电流、电压关系	参数矩阵	互易二端口的参数关系
$\dot{U}_1 = Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2$ $\dot{U}_2 = Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2$	Z参数 $\begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$	$Z_{12} = Z_{21}$
$\dot{I}_1 = Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2$ $\dot{I}_2 = Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2$	Y参数 $\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix}$	$Y_{12} = Y_{21}$
$\dot{U}_1 = H_{11}\dot{I}_1 + H_{12}\dot{I}_2$ $\dot{I}_2 = H_{21}\dot{I}_1 + H_{22}\dot{U}_2$	H参数 $\begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{pmatrix}$	$H_{12} = -H_{21}$
$\dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B(-\dot{I}_2)$ $\dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D(-\dot{I}_2)$	A参数 $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$	$AD - BC = 1$

在电力工程中,研究传输线时多用A参数,而且习惯上把端口2 2'的电流方向反过来(见图3),所以表中第四行的端口电流改成了 $(-\dot{I}_2)$ 。

线性非时变互易二端口的等效电路 在正弦电流稳态下,不论图1中二端口网络的内部如何复杂,总可以用一个简单的等效电路表示。图4、图5分别是T型等效电路和Π型等效电路。表2是它们的参数关系。稳态运行时,电力变压器常用T型等效电路表示;传输线用Π型电路或T型电路表示。

线性非时变非互易二端口的等效电路 在正弦电流稳态下,这种二端口的等效电路至少含有一个受控

表2 二端口的参数和等效电路元件参数之间的关系

等效电路	Z 参数	Y 参数	H 参数	A 参数
T 型 (图 4)	$Z_{11}=Z_1+Z_3$ $Z_{22}=Z_2+Z_3$ $Z_{12}=Z_{21}=Z_3$	$Y_{11}=\frac{Z_2+Z_3}{\Delta}$ $Y_{22}=\frac{Z_1+Z_3}{\Delta}$ $Y_{12}=Y_{21}=\frac{-Z_3}{\Delta}$ $\Delta=Z_1Z_2+Z_2Z_3+Z_3Z_1$ $(\Delta \neq 0)$	$H_{11}=Z_1+\frac{Z_2Z_3}{Z_2+Z_3}$ $H_{22}=\frac{1}{Z_2+Z_3}$ $H_{12}=-H_{21}=\frac{Z_3}{Z_2+Z_3}$ $(Z_2+Z_3 \neq 0)$	$A=1+\frac{Z_1}{Z_3}$ $B=Z_1+Z_2+\frac{Z_1Z_2}{Z_3}$ $C=\frac{1}{Z_3}$ $D=1+\frac{Z_2}{Z_3}$ $(Z_3 \neq 0)$
Π 型 (图 5)	$Z_{11}=\frac{Y_2+Y_3}{\Delta}$ $Z_{22}=\frac{Y_1+Y_3}{\Delta}$ $Z_{12}=Z_{21}=\frac{Y_3}{\Delta}$ $\Delta=Y_1Y_2+Y_2Y_3+Y_3Y_1$ $(\Delta \neq 0)$	$Y_{11}=Y_1+Y_3$ $Y_{22}=Y_2+Y_3$ $Y_{12}=Y_{21}=-Y_3$	$H_{11}=\frac{1}{Y_1+Y_3}$ $H_{22}=Y_2+\frac{Y_1Y_3}{Y_1+Y_3}$ $H_{12}=-H_{21}=\frac{Y_3}{Y_1+Y_3}$ $(Y_1+Y_3 \neq 0)$	$A=1+\frac{Y_2}{Y_3}$ $B=\frac{1}{Y_3}$ $C=Y_1+Y_2+\frac{Y_1Y_2}{Y_3}$ $D=1+\frac{Y_1}{Y_3}$ $(Y_3 \neq 0)$

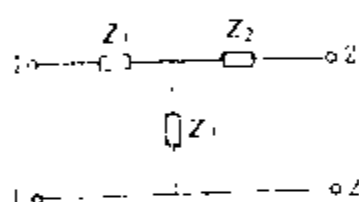


图4 T型等效电路，
诸Z是阻抗

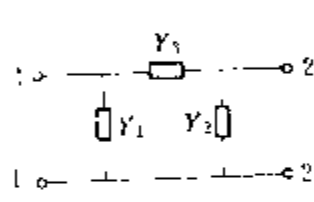


图5 Π型等效电路，
诸Y是导纳

源。图6是以T型电路为基础的一种等效电路。这个

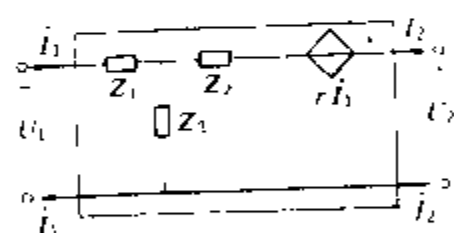


图6 非互易二端口
的等效电路

二端口的Z参数和Y参数如下

$$\begin{aligned}
 Z_{11} &= Z_1 + Z_3 \\
 Z_{12} &= Z_3 \\
 Z_{21} &= r + Z_3 \\
 Z_{22} &= Z_2 + Z_3 \\
 Y_{11} &= \frac{Z_2 + Z_3}{\Delta}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{12} &= \frac{-Z_3}{\Delta} \\
 Y_{21} &= \frac{-(r + Z_3)}{\Delta} \\
 Y_{22} &= \frac{Z_1 + Z_3}{\Delta}
 \end{aligned}$$

$$\Delta = Z_1Z_2 + Z_2Z_3 + Z_3Z_1 - rZ_3 \neq 0$$

式中r是流控电压源的控制参数。

(肖达川)

erten sousuota

二分搜索法 (binary search) 适用于查找有序表中元素的一种算法。若表T的元素 a_1, a_2, \dots, a_n 贮存于数组A, 满足 $A[1] \leq A[2] \leq \dots \leq A[n]$ (或 $A[1] \geq A[2] \geq \dots \geq A[n]$), 则说它是有序的。用二分搜索法查找元素a在A中的位置 (或不在A中) 的算法如下。

若 $n=1$, $a=A[1]$ 时找到, 否则不在A中;

若 $n>1$, 将数组元素二分为 $A[1], \dots, A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor]$ 和 $A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor + 1], \dots, A[n]$ ($\lfloor x \rfloor$ 表示 $\leq x$ 的最大整数)。当 $a=A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor]$ 时表示找到。当 $a < A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor]$ 时, 对数组 $A[1], \dots, A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor - 1]$ 重复上述过程。当 $a > A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor]$ 时, 对数组 $A[\lfloor (n+1)/2 \rfloor + 1], \dots, A[n]$ 重复上述过程。

在有序表A中查找任一元素时, 本算法最多只要做 $\lfloor \log_2 n \rfloor + 1$ 次比较。业已证明, 在对于表中的项除比较之外不作其他运算的搜索算法中, 二分搜索法是最优的。

(陈增武)



FORTRAN yuyan

FORTRAN 语言 (FORTRAN) 见程序设计语言。

laguang erjiguan

发光二极管 (light emitting diode, LED)

利用 PN 结的光电效应将电能转换成光能的固态显示器件。由 III~V 族化合物半导体制成的 PN 结, 通以正向电流时, 能高效率地发出可见光或红外光, 且发光强度基本上与正向电流大小成线性关系。光的颜色与辐射波长有关, 而波长则取决于材料的禁带宽度和掺杂种类, 目前已有红、橙、黄、绿四色。合适的材料主要为磷砷化镓、镓铝砷和磷化镓等。发光二极管的特点是工作电压低、亮度高、发光响应速度快、小型化、可靠性高、耐震、耐冲击及寿命长。目前已广泛用于各种家用电器、数字化仪表、计量仪器和计算机终端等设备中。

发光原理 发光二极管的 PN 结, 当外加正向偏置电压时因势垒降低而产生少数载流子的注入, 即 N 区的电子越过 PN 结到 P 区, P 区的空穴越过 PN 结到 N 区。载流子浓度热平衡状态被打破。为了恢复热平衡, 载流子将加快复合, 这种空穴与电子复合所释放的能量以光的形式辐射出来而发光。

工作方式 ①单个 PN 结的发光二极管具有一般二极管的单向导电特性, 常在电子设备中作指示灯用, 其图形符号如图 1 所示。工作时须将管子置于正向偏置状态, 且应串入限流电阻 R 以获得正常发光所需的工作电流 I_F , 避免管子损坏。例如型号 BT201、202、203 的发光二极管, 管压降 U_F 为 1.7~3.8 V, 工作电流 I_F 为 5~10 mA。 $R = \frac{U_{CC} - U_F}{I_F}$ 。通常数字电路采用 $U_{CC} = 5$ V

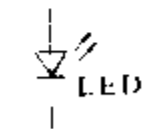


图 1 发光二极管的图形符号

电源, R 取值在 220~330 Ω 之间。直流驱动电路见图 2, 交流驱动时可反向并联成双向串联一个半导体二极管, 如图 3 所示。逻辑电平的驱动电路见图 4。发光

二极管也可串联电阻 R 后直接接到数字集成电路 TTL 或 CMOS 的输出端, 如图 5 所示。②用多个 PN 结的发光二极管可按分段式或点阵式封装, 用作数字、文字和符号显示器。图 6 所示为常用的七段式发光数码管, 有共阳极与共阴极显示器二类。具有集电极开路输出的 BCD 七段译码器外接七个电阻 R

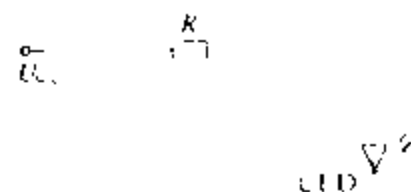


图 2 直流驱动发光二极管电路

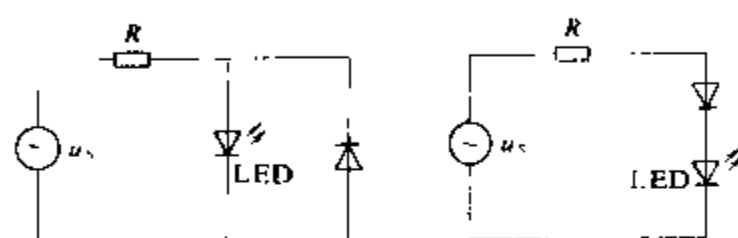


图 3 交流驱动发光二极管电路

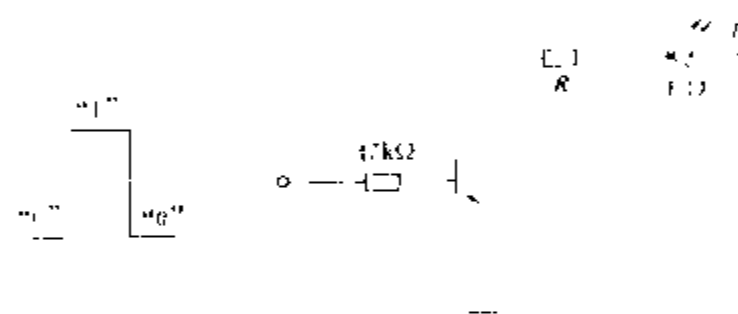


图 4 发光二极管逻辑电平的驱动电路

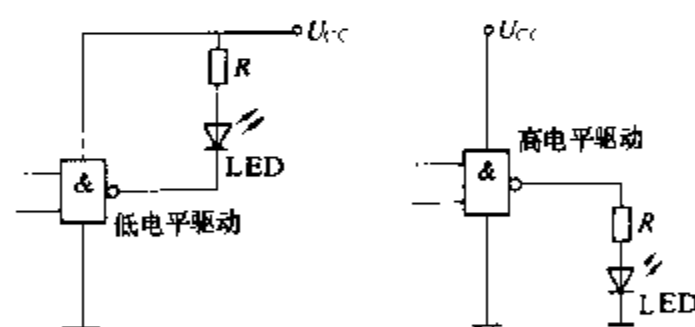


图 5 发光二极管接数字集成电路的驱动电路



图 6 常用的 LED 七段式发光数码管

后, 可驱动共阳极显示器如图 7 所示。显示字母时, 常采用 5×7 点阵式矩阵电路 (见图 8)。

扩展应用 发光二极管已广泛用于立体声电台的

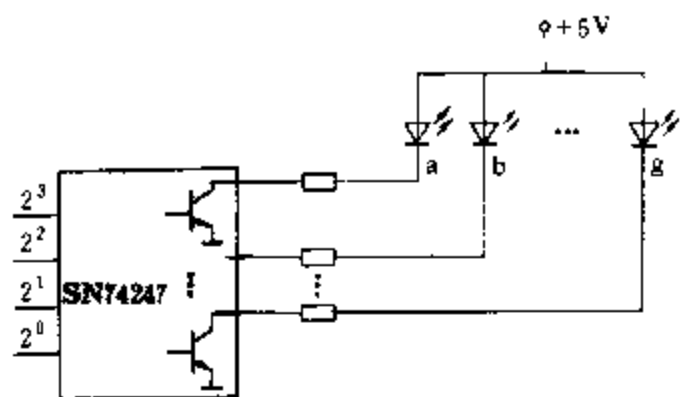


图7 共阳极显示器

- • • • • 调谐指示和收录机的频响与放音电
- • • • • 平指示。并从文字、数字显示发展
- • • • • 到电视图象显示器。光电耦合器与
- • • • • 红外线遥控器中也应用了发光二极
- • • • • 管，它还可作为光纤通信的光源，
- • • • • 并已出现带微处理器的智能发光二

图8 5×7点阵极管显示器，用于各种自动控制系统矩阵电路中。

(刘承柱)

fare dianzu cailio

发热电阻材料 (resistive materials for heater)

制造电热器的材料。要求熔点高，能耐受高低温冲击，在高温下工作时化学稳定性好，不易氧化，并具有足够好的高温机械强度及加工性能。常用的发热电阻材料有镍铬合金、铁铬合金、钼、钨、碳化硅等。

镍铬合金和铁铬合金 是应用最广泛的热丝材料。镍铬合金的成分大致是：镍不超过80%，铬不超过20%，并含少量铁、锰、硅、碳等。如铬含量增加，则其电阻率增大，抗氧化性能提高，但加工性能变差。典型的镍铬丝电阻率约为 $(100 \sim 120) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 。铁铬合金是镍铬合金的代用品，其耐氧化、耐腐蚀性能优于镍铬合金，但加工性能差。最高使用温度均为 $1100 \sim 1200^\circ C$ 。

高温发热电阻材料 钼(Mo)的熔点 $2620^\circ C$ ，电阻率为 $4.77 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，电阻温度系数为 $33 \times 10^{-4} 1/^\circ C$ ，最高使用温度 $1650^\circ C$ 。钨(W)的熔点为 $3370^\circ C$ ，电阻率为 $5.48 \times 10^{-8} 1/^\circ C$ ，最高使用温度为 $2500^\circ C$ ，电阻温度系数为 $45 \times 10^{-4} 1/^\circ C$ 。高温时应在真空或惰性气体的气氛中使用。在电光源中常用作发光材料。贵金属钽、铂、铱等在特需场合也可用作高温发热材料，其使用温度相应地可达 2000 、 1600 、 $2100^\circ C$ 。使用条件和钨相似。

碳化硅发热材料 在冶金和热处理中，非金属碳化硅常用作高温发热材料，最高使用温度可达 $1450 \sim 1600^\circ C$ ，价格远比金属低廉。石墨棒和粉也可直接用作

高温发热材料。

(黄嘉豫)

fa

乏 (var) 无功功率的单位，符号是 var。无功功率的量纲和功率的量纲相同，为了区别于功率的单位瓦特，称无功功率的单位为乏，或称无功伏安。

在正弦交流电路中，施加于纯电感(或纯电容)上的端电压的有效值为 $1V$ ，电流有效值为 $1A$ 时，则它所吸收(或发出)的无功功率为 $1var$ 。 $1var$ 是施加于电路 $1V$ 的正弦交流电压、流入与此正弦交流电压相位差 90° 的 $1A$ 正弦交流电流时的无功功率。

(孙树勤)

fafa

法拉 (farad) 国际单位制(SI)中电容的单位。法拉简称法，符号是 F。电容器两极板间的电压为 $1V$ ，两极板分别带有量值为 $1C$ 的正、负电荷时，此电容器的电容定义为 $1F$ 。法的单位太大，常用的单位是微法(μF)或皮法(pF)。

(肖达川)

fanyi chengxu

翻译程序 (translator) 把用一种程序设计语言表示的程序转换为用另一种程序设计语言表示的等价程序的程序。通常把前一种程序，即翻译程序的输入，叫做源程序，把后一种程序，即翻译程序的输出，叫做目标程序。用以表示源程序的语言叫源语言，表示目标程序的语言叫目标语言。

如果源语言是高级程序设计语言，而目标语言是汇编语言或机器语言，这样的翻译程序就叫编译程序。

执行一个用高级语言表示的程序，基本上可分两步：首先把源程序翻译成目标程序，然后把产生的目标程序连接装配后装入内存并执行之。

除了编译程序之外，还有几种其他类型的翻译程序。

(1) 解释程序。

(2) 汇编程序。

(3) 预处理程序。它把一种高级语言表示的程序翻译成另外一种高级语言表示的等价程序。例如：许多 FORTRAN 预处理程序，就是把 FORTRAN 的“结构化”版本翻译成标准的 FORTRAN。

翻译理论是关于语言翻译的理论，主要从理论上探讨语言的语义、翻译的定义及基本翻译方法。翻译是字符串对偶的集合，翻译程序定义的翻译是(源程序、目标程序)这样的对偶的集合。如果翻译程序由词法分

析、语法分析和代码生成三个阶段组成,则每个阶段又都定义一个翻译。词法分析定义从源程序字符串到单词串的翻译;语法分析定义单词串到表示语法树串的翻译;代码生成则定义这些串到目标语言串的翻译。

定义翻译的基本方法有两种:语法制导翻译方法和转换器方法。

(1) 语法制导翻译方法是一个5元组 $T = (N, \Sigma, \Delta, R, S)$, 式中 N 是非终结符的有限集合; Σ 是有限输入字母表; Δ 是有限输出字母表; R 是如下形式的规则的集合: $A \rightarrow \alpha, \beta$, 其中 $\alpha \in (N \cup \Sigma)^*$, $\beta \in (N \cup \Delta)^*$, 且 β 中的非终结符是 α 中的非终结符的重排; S 是 N 中的特殊非终结符, 叫开始符号。

(2) 转换器实际上是一种识别程序, 识别时每移动一步都发出字符串输出(可能为空输出)。有限转换器是最简单的翻译程序, 它是通过让有限自动机每移动一步都可发出输出符号字符串而得到的。例如许多词法分析程序就是有限转换器模型。

翻译理论除可用于构造编译程序等之外, 还可应用于自然语言的翻译、人工智能、模式识别等领域。

(李维生)

fankui fangdaqi

反馈放大器 (feedback amplifier) 把输出信号的一部分或全部按一定的方式送回到输入回路中, 以改变放大性能的放大器。由输出回路送到输入回路的信号称为反馈信号。反馈信号在输入回路中与外加信号相加(或相减)组成放大器的净输入量。

工作原理 反馈放大器由基本放大器、反馈网络组成, 如图1所示。图

中 \dot{X}_o 为输出信号, \dot{X}_f 为反馈信号, \dot{X}_i 为原输入信号, \dot{X}_d 为净输入信号, $\dot{A} = \dot{X}_o / \dot{X}_d$ 为基本放大器的放大

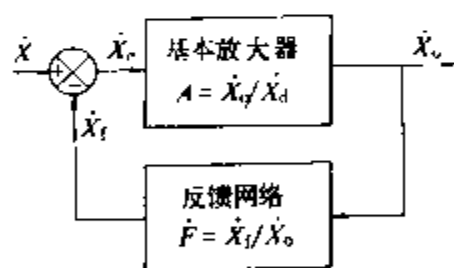


图1 反馈放大器的方框图

倍数(亦称开环放大倍数), 反馈网络的作用是使系统的输出和输入发生联系, 形成反馈环路(亦称闭环), 反馈信号 $\dot{X}_f = \dot{F}\dot{X}_o$, \dot{F} 为反馈系数。输出 \dot{X}_o 与输入 \dot{X}_i 之比 \dot{A}_F 为反馈放大器的放大倍数(亦称闭环放大倍数)。

$$\dot{A}_F = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

上式是反馈放大器的基本关系式, 它表示闭环放大倍数与开环放大倍数之间的关系。其中 \dot{A} 和 \dot{F} 为复数, 随频率而变, 因此 \dot{A}_F 一般也是随频率而变的复数。在中频频段, 如 $\dot{A}\dot{F}$ 为正, 式中分母 $1 + \dot{A}\dot{F}$ 的值大于1, 闭

环放大倍数变小, 相当于负反馈; 如 $\dot{A}\dot{F}$ 为负, 且其值小于1, 式中分母 $1 + \dot{A}\dot{F}$ 也小于1, 闭环放大倍数变大, 则相当于正反馈。当 $\dot{A}\dot{F}$ 为负, 且 $|\dot{A}\dot{F}| = 1$ 时, 系统就质变到自激状态, 该式失去意义。

分类 反馈有电压反馈和电流反馈, 串联反馈和并联反馈, 正反馈和负反馈之分。

从输出回路看, 反馈信号取之于图2(a)的输出电压, 则称为电压反馈; 反馈信号取之于图2(b)的输出电流, 则称为电流反馈。

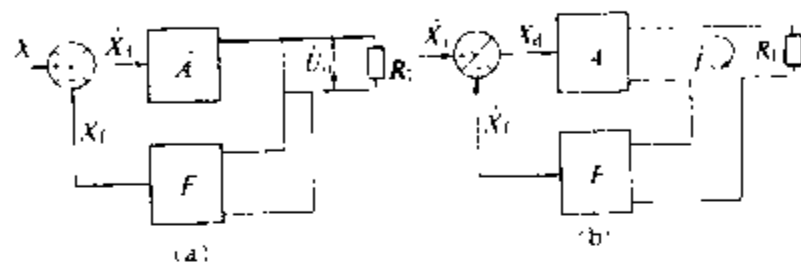


图2 电压和电流反馈方框图

(a) 电压反馈; (b) 电流反馈

从输入回路看, 图3(a)中反馈信号以电压形式送至输入回路, 与原输入电压 \dot{U}_i 相串联, 称为串联反馈; 图3(b)中反馈信号以电流形式送至输入回路, 与原输入信号 \dot{I}_i 相并联, 称为并联反馈。

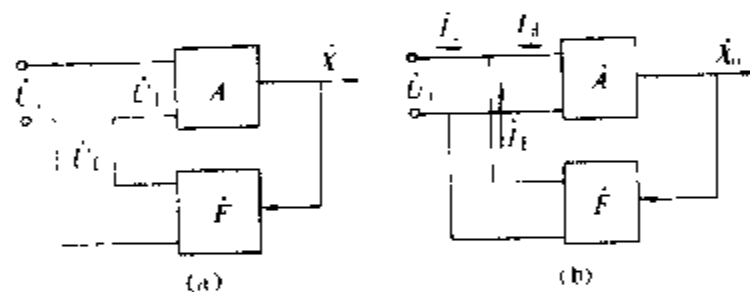


图3 串联和并联反馈方框图

(a) 串联反馈; (b) 并联反馈

若反馈信号使净输入信号增大, 即净输入信号大于原输入信号 ($X_d > X_i$), 而使放大量增加的, 称为正反馈; 若反馈信号使净输入信号减小, 即净输入信号小于原输入信号 ($X_d < X_i$), 而使放大量减小的, 称为负反馈。

负反馈对放大器性能的影响 负反馈已在实际放大系统中获得广泛应用, 因为它能在如下几个方面改善放大器的性能。

(1) 负反馈能使放大器的闭环放大倍数趋于恒定, 少受开环放大倍数波动的影响。如果使 $\dot{A}_F = \dot{A} / (1 + \dot{A}\dot{F})$ 式中的 $\dot{A}\dot{F}$ 乘积的绝对值比1大很多, 则闭环放大倍数绝对值 $A_F \approx \frac{1}{F}$ 。这样, 只要用比较恒定的无源元件来组成反馈网络, 负反馈放大器的放大倍数就基本上不受开环放大倍数 \dot{A} 的影响。

(2) 放大器的输入阻抗值因反馈信号在输入回路加入方式的不同而异, 在图4(a)中, 串联负反馈使输

入阻抗增加,也就是闭环输入阻抗 Z_{if} 大于开环输入阻抗 Z_i , 因为串联负反馈时, $\dot{I}_d = \dot{I}_i = \frac{\dot{U}_d}{Z_i} = \frac{U_i - U_f}{Z_i}$, 净输入电压 U_d 小于原输入电压 U_i , 所以, \dot{I}_d 由于 \dot{U}_f 的引入而减小, 导致 $Z_{if} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_d}$ 增加。图 4(b) 中, 并联负反馈使输入阻抗减少, 也就是闭环输入阻抗 Z_{if} 小于开环输入阻抗 Z_i , 因为净输入电流 I_d 小于原信号电流 I_i , 而并联反馈时, 其输入端电压是一样的。

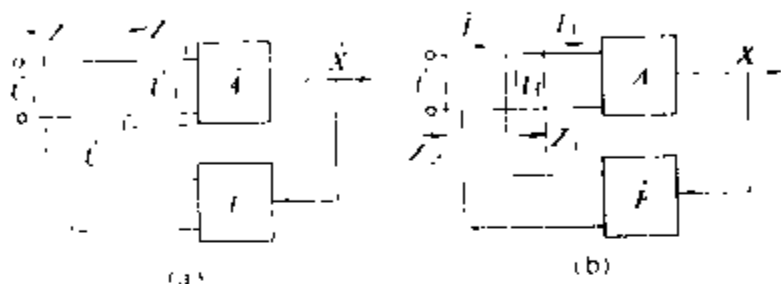


图 4 负反馈对输入阻抗的影响
(a) 串联负反馈; (b) 并联负反馈

放大器的输出阻抗随反馈信号从输出信号取样的方式不同而异。图 2(a) 为电压反馈, 若为负反馈, 则使输出阻抗降低, 因为电压负反馈能维持输出电压恒定; 图 2(b) 为电流反馈, 若为负反馈, 则使输出阻抗增加, 因为电流负反馈能维持输出电流恒定。

(3) 在相同的输出幅度下, 负反馈放大器的非线性失真比无反馈时为小。但当输入信号的运用范围很大, 例如运用到电子器件的饱和与截止状态时, 虽采用负反馈, 也起不到减小非线性失真的作用。

(4) 反馈可以改变通频带。电压串联负反馈能使放大器电压放大倍数的幅频特性变得比较平坦, 通频带展宽。

正反馈放大器能提高增益, 但却不能使增益恒定; 能有较好的选择性, 但频带变窄, 且工作稳定性差。例如声音若从扬声器反馈到同一个录音机或放大器的话筒, 就可能引起扬声器的啸叫声, 这是由于正反馈作用使放大器产生自激所致 (见正弦波振荡电路)。

(王志宏)

fankui kongzh

反馈控制 (feedback control) 见控制系统。

fantieci xing

反铁磁性 (antiferromagnetism) 在无外加磁场的情况下, 邻近的完全相同的原子或离子的磁矩, 由于相互作用而处于相互抵消的状态, 致使合成磁矩为零的现象。理论和实验表明, 在“交换耦合” (见铁磁性) 作用下, 有可能在磁性材料中出现相邻原子磁

矩自发地呈反平行整齐排列状态, 虽然这时磁矩处于整齐排列状态, 但在无外磁场时, 单位体积中净磁矩为零, 宏观上不呈现磁性, 这种现象被称为反铁磁性。Cr、 α -Mn、一些稀土金属以及许多含一种或多种过渡族金属、稀土元素和铜族元素的化合物皆为具有反铁磁性的物质。

在弱磁场中, 具有反铁磁性物质的磁化率 χ 几乎与磁场强度 H 无关, 磁化率随温度变化关系如图 1 所示。

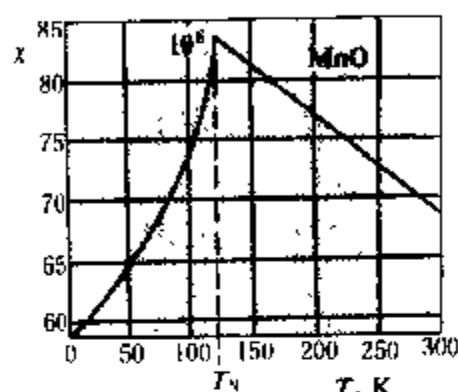


图 1 反铁磁性物质的磁化率与温度的关系

在温度为 T_N 时磁化率具有一极大值, 温度 T_N 称为奈尔温度。当温度低于奈尔温度时, 相邻原子磁矩基本保持反平行排列; 随着温度的升高, 这种反平行排列逐渐减弱, 因而磁化率逐渐增大; 达到奈尔温度, 自发反平行排列和相应的反铁磁性消失; 温度继续升高, 反铁磁性转化为顺磁性, 其磁化率随温度变化遵从居里——外斯定律。

铁氧体 (或称为铁淦氧、磁性瓷), 是一种目前常用的磁性材料, 它是由 Fe_2O_3 为主要成分的强磁性复合氧化物。通过“交换耦

合”作用, 铁氧体也会引起相邻原子磁矩的反平行排列, 但由于相邻原子磁矩大小不同, 因此获得未完全抵消的净磁矩 [图 2 (a)], 这种磁

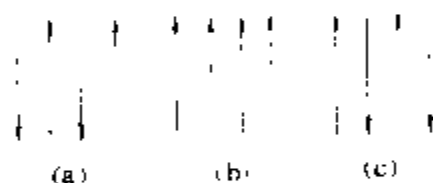


图 2 净磁矩

(a) 亚铁磁性; (b) 铁磁性; (c) 反铁磁性

有序性称为亚铁磁性 (Ferrimagnetism), 因为这种磁性从宏观上的净磁矩看类似于铁磁性 [图 2 (b)], 而从微观上磁矩反平行排列看又类似于反铁磁性 [图 2 (c)]。铁氧体有着广泛的应用, 它既可制永磁体, 也可作为软磁材料, 其特点是电阻率高 (比金属磁性材料高 10^6 以上), 在交变磁场中涡流损耗低, 适用于作高频、微波等波段的磁性元件。

(吴百诗)

tangda dianlu

放大电路 (amplification circuit) 通过有源器件的控制作用, 使输出信号的波形能按照输入信号的波形加以放大的电路。放大电路的核心是晶体管 (双极型晶体管和场效应晶体管)、电子管和以晶体管放大电路为基础的集成电路等有源器件。为了实现放大功能, 还必须给放大电路提供直流电源 (能源)。功

率放大作用实质上是把直流能量转移给输出信号, 输入信号的作用是控制这种转移。电信号的放大是电子电路的基础之一。目前使用最广泛的集成放大电路又加速了电子设备以及电子电路小型化和微型化的进程。

分类 放大电路可按所用有源器件、电路功能、电路的耦合方式、使用频率范围、频率特性、特定技术要求或结构方式等加以分类。

(1) 按所用有源器件可分为: ①分立晶体管放大电路。它常用于电压和功率放大以及高频、微波的低噪声放大。②真空管放大电路。如采用功率三极管或四极管、磁控管、速调管、行波管等常用于高频和微波的大功率放大。③集成运算放大电路。这是目前应用最广泛的放大电路。

(2) 按放大电路的主要功能可分为: ①电压(或电流)放大电路; ②功率放大电路; ③直流放大电路; ④低噪声放大电路等。

(3) 按电路的耦合方式可分为: ①直接耦合放大电路; ②阻容耦合放大电路; ③变压器耦合放大电路。

(4) 按使用的频率范围可分为: ①直流放大电路; ②音频放大电路; ③中频放大电路; ④高频放大电路; ⑤射频放大电路。

(5) 按频率特性可分为: ①宽带放大电路; ②选频(窄频带)放大电路。

(6) 按特定的技术要求或结构方式划分有: 对数放大电路; 反对数放大电路; 差分放大电路; 运算放大电路; 前置放大电路; 天线放大电路; 弱电流放大电路; 隔离放大电路; 缓冲放大电路; 脉冲放大电路等。

性能指标 放大电路的主要性能指标有增益成放大倍数、频率响应、输入阻抗、输出阻抗、非线性失真系数、噪声系数等。

(1) 放大倍数: ①放大电路的输出电压值 u_o 与输入电压值 u_i 之比称为电压放大倍数, 记为 $A_u = u_o/u_i$ 。电压放大倍数常常用分贝(dB)值表示, 称为电压增益, 记为 $A_{u(dB)} = 20\lg \frac{u_o}{u_i}$, dB。②放大电路的电流放大倍数、电流增益分别记为 $A_I = I_o/I_i$ 和 $A_{I(dB)} = 20\lg I_o/I_i$, dB, 其中 I_o 与 I_i 分别为放大电路的输出和输入电流值。③放大电路的功率放大倍数、功率增益分别记为 $A_P = P_o/P_i$, $A_{P(dB)} = 10\lg P_o/P_i$, dB, 其中 P_o 与 P_i 分别为放大电路的输出与输入信号的功率值。

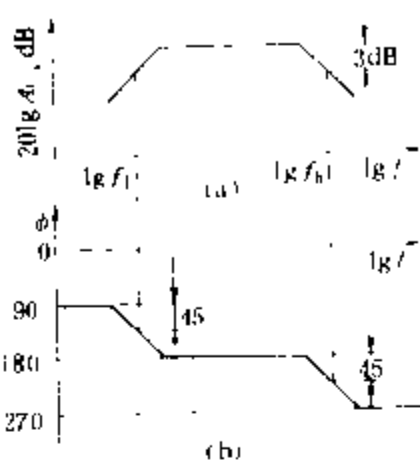
(2) 频率响应: 放大电路的电压放大倍数通常是频率的复函数, 可以写成

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u(j\omega)} = |A_{u(j\omega)}| e^{j\phi(\omega)}$$

式中 $\omega = 2\pi f$; f 是频率; ω 是角频率; $j = \sqrt{-1}$ 。 $|A_{u(j\omega)}|$ 表示放大电路的放大倍数幅值与频率的关

系, 称为幅频特性, 如图(a)所示。其中 f_l 称为放大电路的下限频率, f_h

称为放大电路的上限频率。上限频率 f_h 与下限频率 f_l 之间的频率范围称为放大电路通频带。 $\phi(\omega)$ 表示放大电路输出相对子输入信号的相位差与频率的关系, 称为相频特性, 如图1(b)所示。它们合称为放大



放大电路的频率特性
(a) 幅频特性; (b) 相频特性

电路的频率特性, 也称频率响应。放大电路的频率特性应该与被放大的输入信号的频谱相适应, 也就是输入信号的频谱应在放大电路的通频带之内, 以保证输入信号各频率分量能同样地得到放大, 其相位关系也得到保持。频带过窄以及相频特性的非线性都会引起输出波形失真, 这称为频率失真, 或线性失真。

(3) 输入阻抗: 由放大电路的输入端向放大电路看进去的交流阻抗, 称为放大电路的输入阻抗, 记为 $Z_i = \dot{U}_i/\dot{I}_i$ 。输入阻抗由输入电阻和输入电容构成。放大电路输入阻抗的大小, 表明电路对信号源的影响程度。在测量仪器的放大电路中, 常希望有很高的输入阻抗, 以减少对被测电路的影响。在高频放大电路或视频放大电路中, 又要求输入电阻小些, 输入电容小些, 以改善放大电路的高频特性。

(4) 输出阻抗: 由放大电路的输出端向放大电路看进去的交流内阻抗, 称为放大电路的输出阻抗, 记为 $Z_o = \dot{U}_o/\dot{I}_o$ 。输出阻抗由输出电阻和输出电容构成。放大电路输出阻抗的大小, 是衡量放大电路带负载能力大小的一个重要指标。若放大电路的输出电压希望恒压, 则要求输出阻抗愈小愈好; 若放大电路的输出电流希望恒流, 则要求输出阻抗愈大愈好。

(5) 非线性失真: 对于大信号放大电路, 例如功率放大电路, 放大器件的非线性常常造成输出波形可觉察的失真, 称为非线性失真, 其大小可以利用非线性失真系数 D 来衡量。若输入为一正弦波信号, 由于非线性失真输出为非正弦波, 则非正弦波形可以分解成各次谐波和基波。谐波成分越多, 失真越严重, 所以常用谐波电压总有效值 $\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}$ 与基波有效值 U_1 之比来表征失真程度, 称为非线性失真系数。其定义为

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$

减小非线性失真的主要方法是合理选择放大器件的静态工作点, 以及将输出信号限制在放大电路的输出动态范围之内。

(6) 噪声系数: 对于弱信号放大电路, 噪声特性是非常重要的。放大电路中的内部噪声主要是电路中电阻的热噪声和有源器件的热噪声、散粒噪声、颤动噪声等。这些内部噪声叠加于放大电路的输出信号上, 会使噪声对信号的比重增大, 严重时噪声可能淹没信号。衡量放大电路噪声大小的参数叫作噪声系数, 记为 $N_F = \frac{\text{输入信号功率/输入噪声功率}}{\text{输出信号功率/输出噪声功率}}$, 噪声系数的分贝值为 $10\lg N_F, \text{dB}$ 。

选用低噪声放大器并适当地设计放大电路, 可以减小放大电路产生的噪声。

不同用途的放大电路还有其特定的性能指标, 例如直流放大电路的零点漂移, 差分放大电路的共模抑制比, 功率放大电路的最大输出功率和效率, 对数放大电路的输入、输出动态范围等。

(王志宏)

feijingtai bandaoti cailiao

非晶态半导体材料 (noncrystalline semiconductor materials) 不具有晶格平移对称性的

半导体材料。非晶态的主要特征有: ①它是一种非平衡的亚稳态, 其自由能高于同质的晶体; ②长程无序和短程有序。短程有序是在近邻原子间有着与同质晶体类似的结构, 但近邻原子间距及键角等与晶体相比稍有不规则的畸变。在重要的非晶态半导体中, 原子都是靠共价键或带有极性的共价键相结合的。非晶态半导体的能带中也存在导带、价带和禁带。但与晶态半导体不同的是, 能带中除了存在扩展态外, 还存在由无序引起的带尾定域态。扩展态与定域态交界处称为迁移率边, 导带迁移率边和价带迁移率边之间称为迁移率带隙。带隙中存在着由缺陷和无序引起的隙态。非晶态半导体也由电子和空穴导电, 但其导电机理较复杂, 除了扩展态电子导电外, 还有定域态电子通过与非晶格子相互作用的跳跃式导电。由于非晶态半导体中大量缺陷和隙态的存在, 其载流子迁移率很低, 在室温下电子的迁移率只有 $5 \sim 10 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。目前人们研究最多的非晶态半导体为以下两类:

(1) 四面体结构非晶态半导体。其中主要的有 IV 族元素非晶态半导体, 如非晶硅和非晶锗 (分别表为 a-Si 和 a-Ge), 以及 III-V 族化合物非晶态半导体, 如 a-GaAs, a-GaP, a-InP, a-GaSb 等。这类非晶态半导体的最近邻原子配位数主要为 4。

(2) 硫系非晶态半导体。这类非晶态半导体中含有很

大比例的硫系元素, 如 S、Se、Te 等。它们常常是以玻璃态形式出现, 例如 S、Se、Te、 As_2S_3 、 As_2Te_3 、 As_2Se_3 、 Sb_2S_3 、 Sb_2Te_3 、 Sb_2Se_3 及三元系 As_2Se_3 - As_2Te_3 和四元系 Te_2Se_3 - As_2Te_3 等都属此类, 其范围很广。

除此以外, 还发现了多种非晶态半导体, 其中重要者, 如氧化物非晶态半导体 GeO_2 、 BaO 、 SiO_2 、 TiO_2 、 SnO_2 、 Ta_2O_5 等, II 族和 V 族元素非晶态半导体, 如 a-B、a-As 等。在所有非晶态半导体中, 氢化非晶硅 (a-Si:H) 得到最广泛的研究和应用。在 a-Si:H 中, 由于 H 的掺入, 使其隙态密度大大下降, 从而在其中首先实现了 N 型和 P 型掺杂, 制得了具有整流特性的 PN 结, 并进而开发了 a-Si:H 太阳能电池和薄膜场效应晶体管等非晶态半导体器件。目前非晶态半导体已日益得到广泛的应用, 如显示、图像传感、静电复印感光膜、光信息存储片 (光盘) 及各种传感器等。

制备非晶态半导体的主要方法有两大类: 一类是从液态经快淬冷却制得, 制备块状硫系非晶态半导体多采用这种方法, 得到的常是玻璃态; 另一类是用真空蒸发、溅射、辉光放电及化学汽相沉积 (CVD) 等方法, 可制得薄膜状非晶态半导体, 制备 a-Si, a-Ge 及其他四度配位化合物非晶态半导体多采用这类方法。

(罗晋生)

feijingtai cixing cailiao

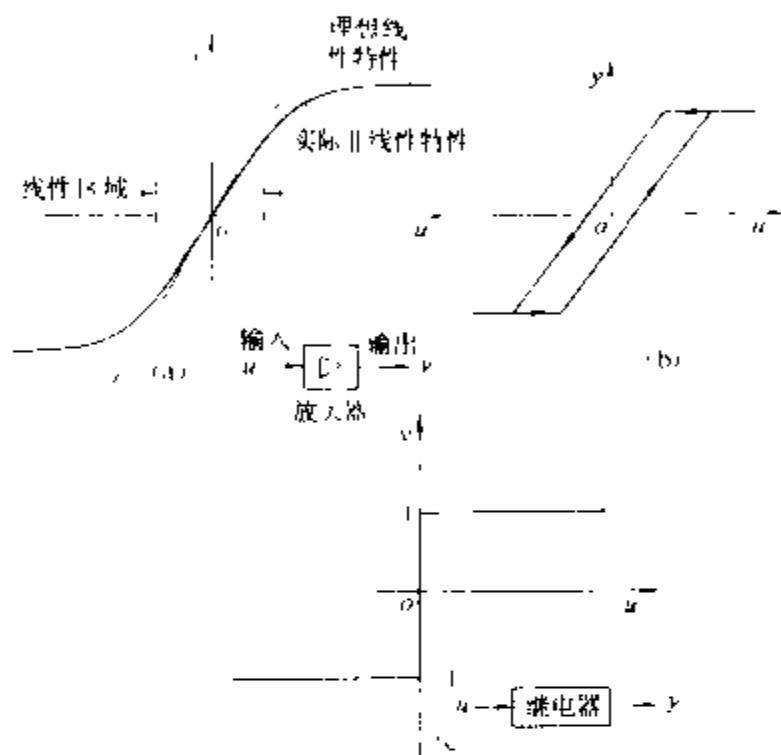
非晶态磁性材料 (non-crystal magnetic materials) 具有高磁导率的非晶态材料。在铁、

钴、镍中掺入硼、硅、碳、铬、磷等元素可以制成薄片状的高导磁非晶态材料。从各种性能来看, 具有良好的应用前景。目前已开始用于制造配电变压器、脉冲变压器及磁放大器等。其优点是磁导率高而矫顽力小, 所以磁滞损耗小; 又因厚度小, 电阻率高, 涡流损耗也小, 大大降低了铁芯损耗, 节能效果良好。缺点是饱和磁通密度及叠片系数比硅钢片低, 铁芯体积增大。此外, 非晶材料对温度及机械应力较敏感, 使用温度不宜超过 150°C , 而且硬度大、质脆、加工较困难。因磁致伸缩系数较大, 铁芯在运行中的噪声也大。在目前已商品化的非晶铁磁材料中, 以 Metglas 2605SC 合金为例, 成分为 Fe81%, B13.5%, Si3.5%, C2%。主要性能: 饱和磁通密度 1.6T, 矫顽力 0.04Oe, 居里温度 415°C , 电阻率 $125 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, 铁损 0.2W/kg, 饱和磁致伸缩系数 $\lambda_s = 3 \times 10^{-5}$ 。非晶变压器的功率现已达到 500 kV·A 以上, 造价高于一般变压器。但损耗小, 运行价格低。此外, 非晶态铁磁材料还可利用真空镀膜法生长在某些基片上, 用作高密度磁记录材料, 制作超微磁泡。

(黄嘉豫)

非线性控制系统 (nonlinear control system)

具有非线性性质的控制系统。严格说, 实际系统都是非线性系统, 线性系统只是为了数学处理上的简化而导出的一种理想化的模型。线性系统可以用叠加原理进行分析(见线性控制系统)。非线性系统具有不容忽视的非线性特征, 其中包含有非线性的环节, 例如, 图(a)具有饱和特性的放大器, 图(b)具有间隙的机械系统和具有磁滞回线的电磁元件, 图(c)具有继电动作特性的继电器等等, 以致不能用叠加原理进行分析。



一些典型的非线性特性

- (a) 具有饱和特性的放大器; (b) 具有间隙的机械系统和具有磁滞回线的电磁元件; (c) 具有继电动作特性的继电器

线性系统的行为(稳定性、响应模式)仅仅决定于系统的结构和参数, 而与输入的大小和初始状态无关。非线性系统则不然。

在非线性系统中, 会出现若干在线性系统中不会出现的特殊现象。有些非线性系统中会出现持续的自激振荡, 这种自激振荡具有固定的频率和振幅, 在二维的情况下, 它在状态空间即相平面中的轨迹是一个孤立的环, 称为极限环。有些非线性系统会出现多值响应和跳跃谐振现象, 有些会出现分谐波振荡现象等等。

非线性控制系统的这些特性, 使得对非线性控制系统的研究显得很困难, 用于分析线性系统的行之有效的方法都无法直接应用于非线性系统。迄今非线性控制系统的分析研究还没有象线性系统那样建立起普遍适用的方法, 已经应用的主要方法有以下三种。

(1) 线性化方法(包括分段线性化方法)。这类方法只适合于非线性程度较低的光滑的系统, 所得结果

往往是局部性质。

(2) 相平面法。只适用于二阶系统, 比较直观、准确。但用于高阶系统, 则不具直观性, 因而失去意义。

(3) 描述函数法。是一种工程实用的频域分析方法, 但难用于非线性程度较高的系统。

(童建中 于 渤)

非线性系统的线性化方法 (linearization method of nonlinear systems)

用一个线性系统来近似一个非线性系统, 并且前者的稳定性在一定的条件下能够代表后者的稳定性的方法。

设非线性时变系统的状态方程为 $\dot{x} = f(x, t)$, x 是 n 维状态向量, 并设 $f(0, t) = 0$, 即状态空间原点为平衡状态。

在平衡状态附近作泰勒(Taylor)级数展开, 得

$$f(x, t) = f(0, t) + \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right]_{x=0} x + \psi(x, t)$$

记 $A(t) = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right]_{x=0}$ 为线性化时变矩阵, 因为 $f(0, t) = 0$, 于是有 $\dot{x} = A(t)x + \psi(x, t)$, 上两式中, $\psi(x, t)$ 为高阶项。

如果对于所有 t , $A(t)$ 有界, 并且 $\lim_{\|x\| \rightarrow 0} \sup_{t \geq 0} \frac{\|\psi(x, t)\|}{\|x\|} = 0$, (这里“sup”表示上确界), 则得线性化方程 $\dot{\bar{x}} = A(t)\bar{x}$, \bar{x} 为相应的状态向量。

若上述时变系统的平衡状态 $\bar{x} = 0$ 为一致渐近稳定时, 原非线性系统的原点(平衡状态)也是一致渐近稳定的。

(邱家驹)

非正弦波信号发生器 (nonsinusoidal signal generator)

产生基波频率可调的非正弦波电压信号的电子线路。最常用的非正弦波电压信号是矩形波、三角形波、锯齿波等, 它们经常用于脉冲数字电路中作为信号源。

矩形波信号发生器 电路如图1(a)所示。包含二部分: 一是由运算放大器、稳压管、 R_0 、 R_1 、 R_2 组成的带反馈的迟滞型比较器(见比较器); 另一是由 R 、 C 组成的有延迟的反馈网络。当接上电源后, 输出电压 U_o 等于 $+U_s$ 还是 $-U_s$, 这是随机决定的。设 $U_o = +U_s$, 则 U_o 通过 R 对 C 充电, U_c 不断上升, 直到 $U_c = U_p = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_s$ 时(图中 t_1 点), 比较器输出电压 U_o

发生突变, 从 $+U_s$ 跳变到 $-U_s$, 如图1(b)所示。然后

电容 C 转为放电状态，一直放电到 $U_c = -\frac{R_1}{R_1 + R_f} U_s$ 时(图中 t_2 点)， U_c 又发生突变，由 $-U_s$ 突变到 $+U_s$ ，电容又转为充电状态，如此周而复始。 U_c 为三角形波， U_o 为矩形波。可按电容充放电的公式得矩形波的周期 $T = 2RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_f} \right)$ ，矩形波的频率

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2RC \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_f} \right)}$$

由上式可见：改变 R 、 C 或 $\frac{R_1}{R_f}$ 即可改变频率。由图 1(b)

可知：改变 U_s 值，即可改变矩形波的幅值。此外，由于电容 C 的充放电时间常数均为 RC ，故矩形波的占空比 $D = \frac{t_3 - t_2}{T} = 0.5$ 。

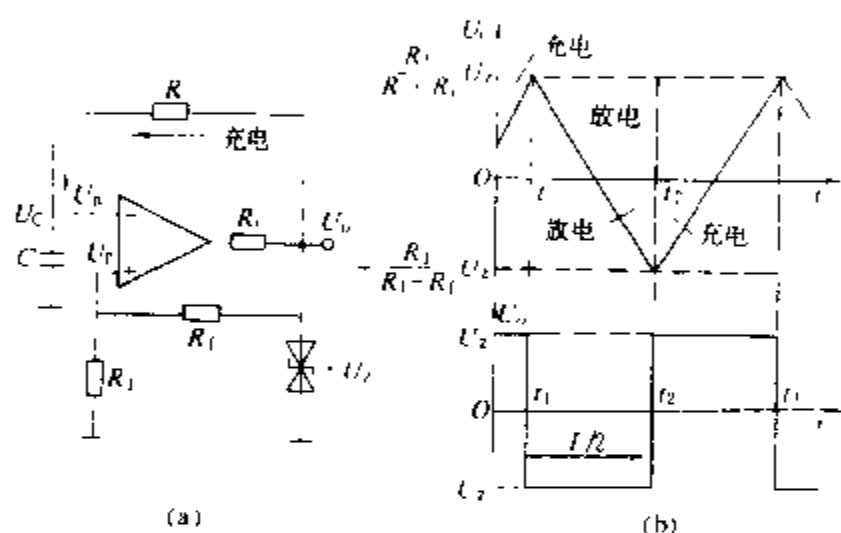


图 1 矩形波信号发生器
(a) 电路图；(b) 波形图

锯齿波信号发生器 电路如图 2(a) 所示。图中由运算放大器、稳压管和电阻 R_o 、 R_f 、 R_1 组成带正反馈的迟滞型比较器，由结型场效应管和电容 C 构成反馈

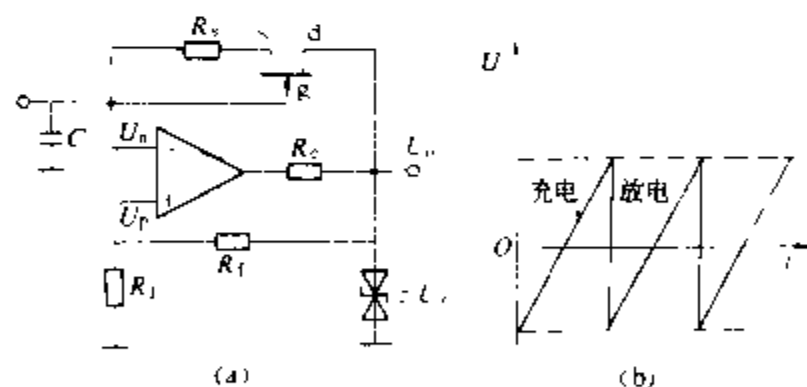


图 2 锯齿波信号发生器
(a) 电路图；(b) 波形图

网络。当 $U'_o = U_s$ 时， $U_p = \frac{R_1}{R_1 + R_f} U_s$ ，结型场效应管的漏极 d 处于正电位，工作在恒流源状态，它以恒定电流向 C 充电，使输出电压 $U_o (= U_c)$ 直线上升，如图 2(b) 所示。当 U_c 上升到 $U_c = U_p = \frac{R_1}{R_1 + R_f} U_s$ 时，比较

器发生跳变，其输出电压 U'_o 由 $+U_s$ 跳变到 $-U_s$ ，使 $U_p = -\frac{R_1}{R_1 + R_f} U_s$ 。这时漏极 d 处于负电位，源极 s 处于正电位，结型场效应管处于倒向工作状态，即 d 起源极作用， s 极起漏极作用，栅极电压为正值，PN 结正偏， sd 间呈低阻状态，使电容 C 放电加速。所以，电容 C 的充电时间常数大，放电时间常数小，放电时 U_o 迅速下降， U_o 呈锯齿波。由图 2(a) 可见：调节 R_1 的大小，即可改变充电电流的大小，从而改变电容的充电时间常数，达到改变锯齿信号频率的目的。

(何金茂)

feizhengxuan zhouqi dianliu dianlu

非正弦周期电流电路 (nonsinusoidal periodic current circuits) 稳态电流和(或)电压

随时间作周期性但偏离正弦变化的电路。电力系统中含有非线性元件便会产生非正弦电流和电压，使电流和电压的波形偏离正弦而发生畸变。

电力系统谐波和间谐波对电力系统造成污染，它对电力系统的主要危害是：①造成电力电容器和电缆的过负荷或过电压而引起损坏；②使电机和电器产生附加功率损耗和发热，并可能引起振动；③对继电保护、自动控制装置和计算机等产生干扰和造成误动作；④干扰通信和使示波器等图像显示失真。非正弦周期电流(或电压)常用傅里叶级数分解为谐波加以分析。

傅里叶级数表示法 设非正弦周期性波形 $f(t)$ 的周期是 T ，频率 $f = \frac{1}{T}$ ，根据数学中的傅里叶级数理论，它可以分解成一系列正弦量之和，即

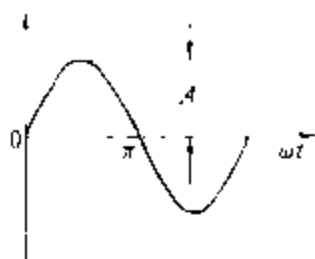
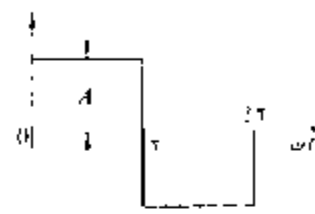
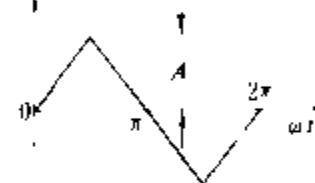
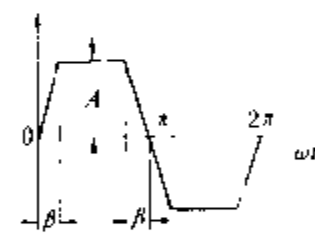
$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \\ = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (1)$$

式中 $a_n = C_n \sin \varphi_n$ ， $b_n = C_n \cos \varphi_n$ ； $C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ ； $\varphi_n = \arctg \frac{a_n}{b_n}$ 。常数项 C_0 代表直流分量； $C_1 \sin(n\omega t + \varphi_1)$ 称为基波，基波的角频率 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ； $C_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$ 称为第 n 次谐波或高次谐波， n 为大于 1 的整数； $\frac{C_n}{C_1} \times 100\%$ 为第 n 次谐波的含有率。

用傅里叶级数表示一个已知非正弦周期波形所需要选取的项数通常是有限的，项数的多少决定于描述实际波形所要求的精确程度。在表中列出几种非正弦周期波形的傅里叶级数及其数字特征(见平均值、有效值、波形因数和总谐波畸变率)。

非正弦周期波形的频谱 以角频率(或频率)为横

几种非正弦周期波形的傅里叶级数及其数字特征

名称	$f(t)$ 的波形	$f(t)$ 的傅里叶级数	平均值	有效值	波形因数	畸变率
正弦波		$A \sin \omega t$	$\frac{2A}{\pi}$	$\frac{A}{\sqrt{2}}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.111$	0
方波		$\frac{4A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\omega t + \dots \right)$	A	A	1	$\frac{50\pi}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{8}{\pi^2}} \% = 48.35\%$
三角波		$\frac{8A}{\pi^2} \left[\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \dots + \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n^2} \sin n\omega t + \dots \right]$	$\frac{A}{2}$	$\frac{A}{\sqrt{3}}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1.155$	$\frac{25\pi^2}{\sqrt{6}} \sqrt{1 - \frac{96}{\pi^4}} \% = 12.12\%$
梯形波		$\frac{4A}{\beta\pi} \left(\sin \beta \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3\beta \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\beta \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{n^2} \sin n\beta \sin n\omega t + \dots \right)$	$\left(1 - \frac{\beta}{\pi}\right) A$	$A \sqrt{1 - \frac{4\beta}{3\pi}}$	$\frac{\sqrt{1 - \frac{4\beta}{3\pi}}}{1 - \frac{\beta}{\pi}}$	$\frac{\beta\pi \sqrt{1 - \frac{4\beta}{3\pi} - \frac{8\sin^2 \beta}{\beta^2 \pi^2}}}{2\sqrt{2} \sin \beta} \times 100\%$

坐标、以非正弦周期波形的直流分量、基波和各次谐波的幅值为纵坐标，在对应各 $n\omega$ 处画出高度为 C_n 的直线，构成非正弦周期波形的 C_n 值线谱 ($n=0, 1, 2, \dots$)，该线谱称为非正弦周期波形的幅度频率特性，简称幅频特性。将纵坐标换作 $100 \frac{C_n}{C_1} \%$ ，则线谱表示谐波含有率。以相角 φ_n 为纵坐标构成的线谱表示谐波含有率。以相角 φ_n 为纵坐标构成的线谱表示谐波含有率。

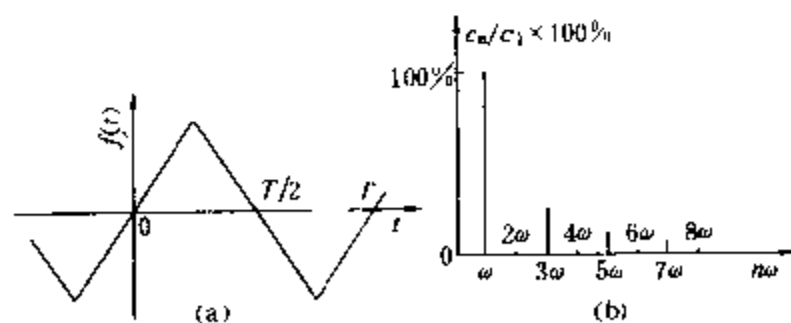


图1 三角波及其离散频谱
(a) 三角波；(b) 离散频谱

谱，称为非正弦周期波形的相位频率特性，简称相频特性。一般所指的频谱均系幅频特性。由于各次谐波的角频率是 ω 的整数倍，所以这种频谱是离散的。图1是三角波及其离散频谱或幅频特性，在图中将直流分量和基波分别看作零次和一次谐波。

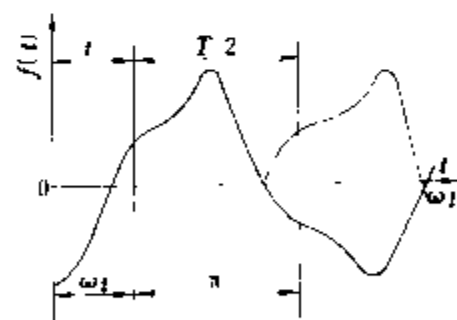


图2 半波对称的非正弦波形

半波对称的波形 在许多情况下，电力系统中的电流和电压的非正弦周期波形满足 $f(t) = -f(t + \pi/\omega)$ ，其后半周期与前半周期的波形相同但符号相反，见图2。这种波形的傅里叶级数中，只含基波和 n 是奇数的奇次谐波，而且不含直流分量。

奇函数波形和偶函数波形 非正弦周期波形的时间原点可任意选择,若选择原点能使得 $f(-t)=f(t)$,则称为偶函数波形,该波形的傅里叶级数只含直流分量和余弦项;若选择原点能使得 $f(-t)=-f(t)$,则称为奇函数波形,该波形的傅里叶级数只含正弦项。

电力系统中的基波、谐波和间谐波 电力系统力求以额定频率 50Hz (或 60Hz) 的正弦波形电压按规定的电压水平向用户供电。此额定频率称为工业频率,简称工频。根据习惯,规定工频为电力系统的基波频率,工频电流 (或电压) 定为基波电流 (或电压)。频率为工频整数倍的正弦分量称为电力系统谐波,也常称它为高次谐波。在电弧炉和粗轧机等负荷下,有时会出现周期是额定周期的二倍、三倍等的电流,在这些电流的傅里叶级数里,分别会出现频率为工频的 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 等

分数倍的正弦分量。这些分量称为电力系统的间谐波或分数谐波,其中低于工频的分数谐波又称为次谐波。

特征谐波和非特征谐波 整流装置和交流电力调整装置等在理想运行情况下固有的谐波,称为该装置的特征谐波。例如含晶闸管的三相整流装置,设其交流侧电力网三相正弦波形的电压是对称的,直流侧电流是平稳的,晶闸管的触发脉冲是等间隔的,每周期内非同时换相的次数即脉波数为 p ,在这种理想情况下在交流侧产生的特征谐波的次数为 $n=kp \pm 1, k=1, 2, \dots$ 。由于交流侧电力网电压波形发生畸变等原因,在装置中可能会产生与特征谐波次数不同的谐波,这类谐波称为该装置的非特征谐波。

短时间谐波 变压器合闸时以及电力机车、绞车等在起动时,会产生短时间的冲击电流。在这个短时间内,将此电流展开为傅里叶级数得到的谐波,称为短时间谐波。

陷波 大功率换流设备在大电流换相时,电力网电压波形有可能在很短时间 Δt 内出现凹陷,这种电压波形凹陷称为陷波,又称槽降,见图 3。通常不将陷波

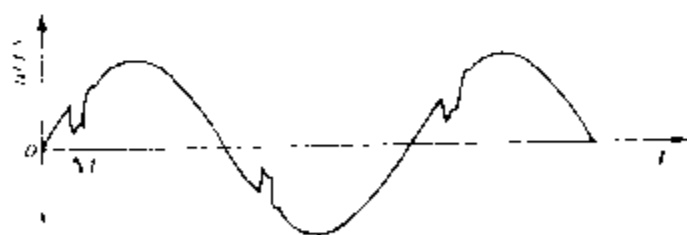


图 3 换相导致的电压陷波

作为谐波问题考虑。由于换流设备一般都经变压器与系统连接,如果变压器容量与系统的短路容量的比例选得适当,便可以抑制陷波现象对系统的影响。

非正弦周期电流电路的计算 计算非正弦周期电源作用于定常电路中的响应时,通常将非正弦电源分

解成傅里叶级数,分别计算各电源的同次谐波在该电路内引起的谐波电流。采用相量计算时,设 n 次谐波阻抗为 Z_n ,基波阻抗为 Z_1 ,对于电阻, $Z_n=Z_1$;对于电感, $Z_n=nZ_1$;对于电容, $Z_n=\frac{1}{n}Z_1$ 。依次计算出直流

分量、基波和各次谐波电流之后,根据叠加定理就可以求出电路各支路的非正弦周期电流。电力系统中非线性负荷产生的谐波电流如为已知,则在分析计算时常以谐波电流源代换这些非线性负荷,它和其他电源、定常元件一起构成定常非正弦周期电流电路,然后可按上述的方法计算各处的非正弦电流。

参考书目

吴克昌等,电力系统谐波,北京:水利电力出版社,1988

(孙树勤)

fenlei suanfa

分类算法 (sorting algorithms) 将序列 a_1, a_2, \dots, a_n 按非递减 (或非递增) 顺序重新排列的算法。在实用上常需对记录文件进行分类,这时规定记录中一个或几个字段为关键字,要求按关键字的非递减顺序对文件的各个记录进行分类。职工登记表文件按照职工号排序就是一个例子。

按照存储介质来分,分类问题可分为内部分类和外部分类两类。对存放在内存储器中的数据分类称为内部分类;外部分类是指数据主要存在外存储器 (如磁盘) 中的分类,此时记录必须按序或成块地存取,在考虑时间复杂度时,必须把存取时间计算在内。

分类问题的时间复杂度与元素的结构特征有关。如果元素是一个有穷字母表上的串,字母在 (或能映射到) 0 到 $m-1$ 的整数范围中时,则称为是有结构的,可以应用“基数分类”算法,在 $k(n+m)$ 步内把一个有 n 个元素的序列分类,其中 k 为与串长有关的某一常数。另一种情况是要分类的元素缺少结构,其基本运算仅是一对元素之间的大小比较,这种分类称为比较分类。常用的比较分类算法有:选择分类、汽泡分类、归并分类、快速分类、堆分类和 shell 分类等。业已证明,不论何种比较分类算法,把 n 个元素的序列分类的比较次数不少于 $n \log_2 n$ 。

在分类算法中空间的使用可能有下列三种情况:一是分类在原地而只用少量的工作单元;二是使用指针表示,放至少用 n 个额外的内存字来表示指针;三是需要另外的存储器来复制要分类的数组或文件。

在实践上有时要考虑分类算法的稳定性特征,即在分类过程中要维持相等关键字记录的原来顺序。例如在字符串的分类中或者多关键字分类中就要求算法

是稳定的。

(陈增武)

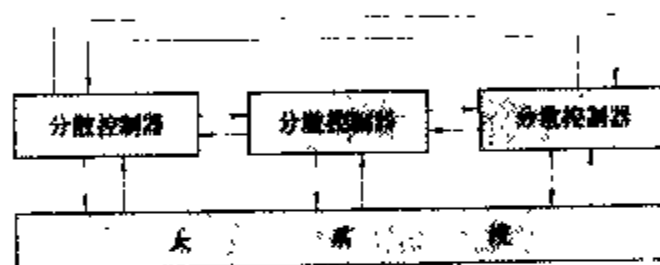
fenliuqi

分流器 (shunt) 见冲击大电流测量。

fensan kongzhi

分散控制 (decentralized control) 一种由若干分散的控制器或决策者、操作者共同完成大系统的总控制目标的控制方式。

图示为分散控制方式。与集中控制不同,分散控制有其特点,就是所谓非经典信息模式,即信息分散,控制分散,各局部控制器之间不能相互通信,或只能进行部分的,有延时、噪声、信息丢失的相互通信。这样,集中控制理论中常规方法的使用遇到困难。



分散控制方式

在分散控制中,整个被控制对象或过程的控制任务由几个独立的分散控制器共同完成。各控制器没有上下级从属关系,每个分散控制器只能获得大系统的部分信息,也只能对大系统进行局部控制,完成它所分担的控制任务。为了协调,需要横向信息流,即各分散控制之间的相互通信。

在空间上分散的大系统,或在空间上较集中但各个控制通道的动态响应时间(或时间常数)差别较大的大系统,均可采用分散控制。

分散控制的问题有:①各分散控制器平行工作,没有隶属关系,难以进行有效的调整;只能实现大系统全局次优化;缺乏有普遍意义的解法。②控制器间通信的滞后和随机干扰等问题给分散控制结构的分析和综合带来困难。③一般难确定分散控制系统的结构问题。

目前分散控制理论研究工作主要集中在非线性非时变连续时间的大系统中,主要解决分散控制的稳定性、求状态反馈增益或输出反馈增益和分散鲁棒控制与分散随机控制三个问题。

(童建中 于 渤)

fenshi xitong

分时系统 (time-sharing system) 见操作系统。

fenyaqi

分压器 (voltage dividers) 通过由电阻、电容元件或阻容混合元件构成的二端口网络,将输入的高电压转换为低电压输出的测量仪器。高电压较难直接测量,所以要通过分压器,使高电压波形不失真地转换成低电压,然后通过低压表计如静电电压表,峰值电压表或示波器、数字采集系统进行测量。分压器的输入高电压与输出低电压之比值称为分压比。事先测量分压器高低压臂的阻抗值或现场实测高低电压值可以获得分压比。分压比应稳定在 $\pm 1\%$ 之内,即它应基本上不随所加电压的高低、加压次数、环境温度、环境条件而变化,所传递的波形应不失真。为避免对被测电源有影响,分压器本身的阻抗值不能太低,但对于高电压的分压器,过高的阻抗值会造成分压比不稳定或所测的波形失真。

分压器按组成的阻抗元件的不同,可分为电阻分压器、电容分压器和阻容分压器三大类。按测量的电压波形的不同,又可分为直流分压器、交流分压器和冲击分压器三大类。

电阻分压器 由电阻元件串联构成的分压器。如图1所示,高压臂 R_1 由多个电阻元件串联组成或由长的优质电阻丝绕成,低压臂 R_2 一般用与 R_1 一样的电阻材料作或。分压比 $k = u_1/u_2 = (R_1 + R_2)/R_2$ 。

在直流分压器中,电阻元件可用优质精密金属膜电阻,也可以由电阻率高、温度系数小的合金丝(如卡玛丝)绕成。为了减小绝缘支架泄漏电流和电晕放电的影响,分压器应流过几百微安到1 mA的电流。除采用分压器低压侧接高阻抗电压表的测量方法外,通常还采用在分压器接地端串联直流微安表的方法,通过电流指示来确定直流高电压值。

交流分压器由优质电阻丝采用无感绕法制成。分压器自身对周围环境及对地的杂散电容,会使测量产生幅值误差和相位移;当电压较高时,电阻又会严重发热,所以电阻分压器很少用到100 kV以上。

雷电冲击电压下,电阻分压器适用于2000 kV峰值以下。高压臂电阻 R_1 一般取为10 k Ω ,以电阻丝用无感绕法制成。为减小其对地杂散电容的影响,可以采用浸油的小尺寸高压臂。分压器本身的电感和它对地的杂散电容是造成电阻分压器幅值和波形测量误差的主要因素。低压臂的电压采用同轴电缆引接到测量仪

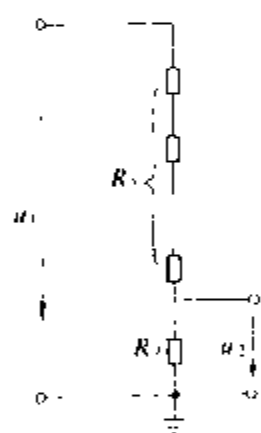


图1 电阻分压器的原理接线
 R_1 —高压臂总电阻;
 R_2 —低压臂电阻;
 u_1 —被测高电压;
 u_2 —低压侧电压

器的接线端。为防止波在电缆中的反射影响,电缆的一端或两端需要进行电阻匹配。

操作冲击电压下,很少应用电阻分压器,因为它会对冲击电压发生器所产生的波形造成影响。

电容分压器 由电容元件串联构成的分压器。如图2所示,高压臂 C_1 由多个油纸介质电容器元件构成,但也可只由一个充有压缩气体的高压标准电容器构成。分压比 $k = (C_1 + C_2) / C_1$ 。

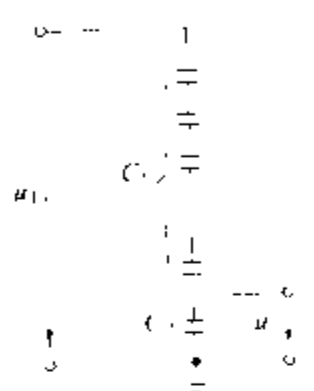


图2 电容分压器的原理接线
 C_1 —高压臂串联总电容; C_2 —低压臂电容;
 u_1 —被测高电压;
 u_2 —低压侧电压

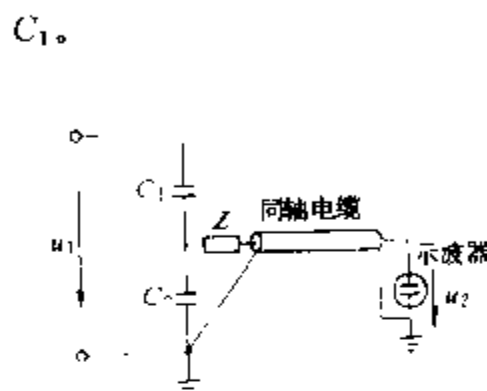


图3 电容分压器所接同轴电缆的匹配
 C_1 —高压臂电容; C_2 —低压臂电容; u_1 —高压被测电压;
 u_2 —低压侧电压; Z —匹配电阻

这种分压器用于测量交流电压、雷电和操作冲击电压。高低压臂电容应尽可能做成无感的。分压器对地杂散电容会造成幅值测量误差,所以分压器周围的环境也会对实际分压比产生影响。

为了减小环境影响, C_1 的电容量不宜太小,工频交流下可取为100~200 pF,冲击电压下应当取得较大一些,如为300~400 pF。用充气标准电容器(见图3)作为 C_1 时,由于它在结构上采用了对地屏蔽的措施,周围环境对分压比基本上不产生影响。它的电容量一般小于100 pF。

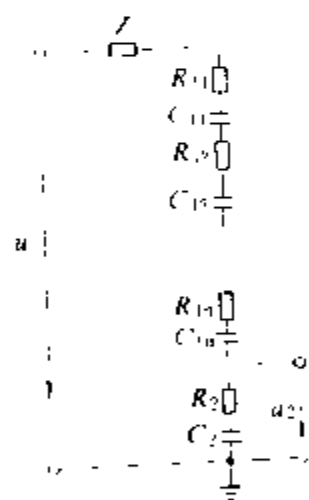


图4 阻尼型分压器的原理接线
 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{1n} —高压臂电容元件; R_{11} 、 R_{12} 、 R_{1n} —高压臂串联电阻元件; C_2 —低压臂电容;
 R_2 —低压臂电阻; u_1 —高压被测电压; u_2 —低压侧电压; Z —引线匹配电阻

在冲击电压测量时,低压臂的同轴电缆应有阻抗匹配。常用的接线图如图3所示。图中 Z 为匹配电阻,其数值取等于电缆的波阻抗值。

阻尼型分压器 属于阻容分压器,即由电阻和电容元件串联的分压器。当电容式分压器使用在较高的冲击电压下

(例如1000 kV以上)时,由于引线和电容器本身的电

感与分压器的电容及对地的杂散电容之间发生振荡,常会使测得的波形失真或叠加高频振荡。为此,在高压臂电容器元件上分布地串入几百欧甚至上千欧的总电阻作为 R_1 ,相应地在低压臂也串进微量电阻 R_2 。令 $R_1 C_1 = R_2 C_2$,分压比 $k = (C_1 + C_2) / C_1$ 。图4为这种分压器的接线图。图中 Z 为引线的匹配电阻,取值约为300 Ω 。 $R_1 = Z + R_{11} + R_{12} + \dots + R_{1n}$, C_1 为 C_{11} 与 C_{12} 及所有高压臂电容元件的串联值。

(陈昌潼)

fenzi jihualu

分子极化率 (molecular polarizability)

描述电介质极化特性的微观参数,简称极化率。无论哪一种电介质,其组成的分子在外电场作用下会出现感应偶极矩。一般,分子的感应偶极矩 μ 与作用于它的有效电场强度 E 成正比,即

$$\mu = \alpha E$$

比例常数 α 称为分子极化率,单位是 $F \cdot m^2$ 。

对应于电子位移极化、原子(离子)位移极化和转向极化的极化率分别为电子极化率、原子(离子)极化率和转向极化率。电子极化率 α_e 的大小与原子或离子的半径有关,而与温度无关。离子极化率 α_i 与离子间的距离有关,随着温度升高而增大,但增加很小。转向极化率 α_s 与温度的关系密切,当场强不高而温度又不太低时,即分子热运动的无序化作用占优势的情况下,转向极化率随着温度上升而减小。

电介质总的极化率等于各种极化率之和,即

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_s$$

对于非极性电介质, $\alpha = \alpha_e + \alpha_i$;对于极性电介质, $\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_s$;对于离子晶体介质, $\alpha = \alpha_e + \alpha_i$ 。

(金维芳)

fenzu jiaohuan gongyong shujuwang

分组交换公用数据网 (packet switched public data network)

向公众提供数据传输业务的分组交换网络。它是由通信主管部门或政府认可的私营代表所建立和经营,供要进行数据传输或要建立部门、行业专业网络的单位使用。

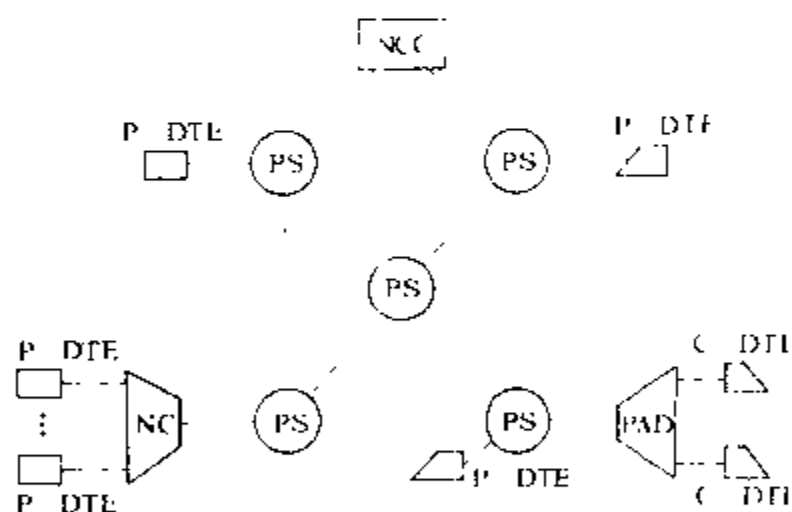
1969年底,美国国防部远景规划局的ARPA分组交换网投入运行,开拓了计算机网络的新时代。70年代,美、法、加、日等发达国家陆续兴建分组交换公用数据网,成为全国性规模的远程大网,且实现国际间、洲际间的互连。中国于1989年开通CNPAC分组交换公用数据网,并于1993年扩建成CHINAPAC分组交换公用数据网。

原理 在分组交换公用数据网内以分组为信息传

输的单位,并以“存储—转发”的方式从一个交换机传送到下一个交换机,直到目的终端设备。分组含控制信息和数据信息两部分。控制信息是分组的路由信息和分组的管理信息;数据信息是一方要传送给另一方的被分拆成固定长度的报文信息。要发起通信,先由主叫(源)用户以呼叫分组的格式把被叫(目的)地址等控制信息传给与之相连的本地分组交换机,按路由选择机制,把呼叫分组传给后续交换机,最终到达被叫用户,随之在主叫用户和被叫用户之间建立起一条虚拟的电路,称之为虚电路。此后,通信双方将各自要传输的信息,以数据分组的格式,一个个、独立、有序地沿着所建立的虚电路传输分组。接收端把所收到的分组内的数据信息装配成完整的报文。

这种通信方式的优点是:通信过程中,在两交换机间的电路上,可同时传输来自多个不同用户、不同方向的许多分组,线路的利用率得以有效提高;分组都设有序号和差错校验控制机制,能做到无误传输;网络内交换机或线路发生故障,能重新选择其他路由,传输灵活、可靠。分组交换网还提供速率转换、规程转换和编码转换等功能,以实现速率、规程、编码不同的设备之间的通信。

结构 分组交换公用数据网的结构形式如图所示。PS为分组交换机,是分组交换公用数据网的主要设备,实现通信协议、数据交换、路由选择等功能。大容量的分组交换机其端口数近万个,每秒能处理上万个分组。



分组交换公用数据网的结构

NCC为网络控制中心,是全网的核心。负责全网的监视、控制、管理、计费及技术管理等任务。一般采用双机冗余结构以提高可靠性。对于大网采用分区的网络控制中心,在其上设全网的网络控制中心,负责全网的监视及管理功能的协调。

NC是网络集中器,其主要功能是把多路中速及低速的用户终端送来的数据集中后,以一条高速线路传送到相连的一台交换机,从而提高线路的利用率。网络集中器无需路由选择功能,某些集中器具有本地交

换功能。

P-DTE是分组式数据终端设备。国际电报电话咨询委员会(CCITT)为分组交换公用数据网和P-DTE之间制定一个接口标准,即X.25建议。凡提供X.25接口的分组式终端(包括终端、计算机和控制器)都可通过专线与分组交换公用数据网相连。随着分组终端的普及,分组终端通过电话网接入分组交换公用数据网的要求日益迫切,CCITT为其制订了X.32的建议,它是X.25建议的扩充。

PAD为分组拆装设备,对不具备X.25的起止式字符终端设备(C-DTE)提供进网的设备。它接收字符终端发来的数据,先装配成分组,再发给分组交换机;同时把来自交换机的分组先拆成字符再转发给字符终端。

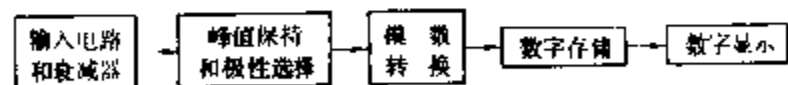
为扩大公用分组交换网的作用范围,必须解决与其他国家的分组交换公用数据网、用户的专用分组网、卫星分组网、局域网、电话交换网、用户电报网、综合业务数字网(ISDN)等的互连问题。随着数据、语音、图像等的综合通信的要求,发展高速分组交换机,组建宽带综合业务数字网(BISDN)已势在必行。

(张德馨)

fengzhi dianyabiao

峰值电压表 (peak voltmeters) 测量电压峰值(即电压的最大瞬时值)的表计。可分为测量交直流电压的峰值电压表和测量冲击电压的峰值电压表两类,也有既可测量交直流电压又可测量冲击电压的多用峰值电压表。一般都是数字式仪表。

峰值电压表的测量准确度一般为 $\pm 1\%$ 左右。其原理框图如图所示。峰值电压表最高量程一般为1kV左右,测量高电压时需和分压器配合使用,即将它和分压器低压臂并联。由于测量球隙和高压电子示波器测量冲击电压峰值较费时且测量准确度不高,故目前都趋向于用分压器配合峰值电压表来测量冲击电压的峰值。



峰值电压表的原理框图

(王昌长)

fu'an

伏安 (volt ampere) 视在功率的单位,符号是V·A(或VA)。1V·A是施加于电路为1V的正弦交流电压、流入1A正弦交流电流时的视在功率。视在功率与功率的量纲相同,为了区别于功率的单位瓦

特, 称视在功率的单位为伏安。电工设备容量(额定视在功率)的单位也是伏安。

(孙树勤)

fumiao texing

伏秒特性 (volt - time characteristics)

绝缘间隙在冲击电压作用下进行放电时, 间隙上出现的电压最大值和放电时间的关系。伏秒特性可通过实验方法获得。在绝缘间隙上施加固定的雷电冲击电压

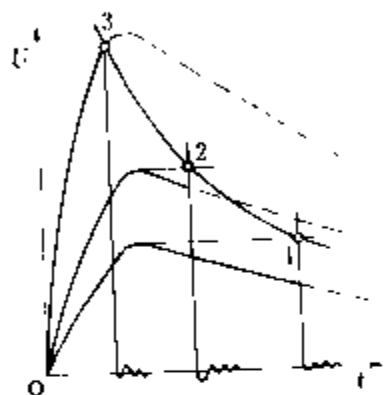


图1 伏秒特性绘制方法
1、2—击穿发生在波尾部分时的取点法; 3—击穿发生在波前部分时的取点法

标准波形(或操作冲击电压标准波形), 逐级升高电压。当电压很低时, 间隙不击穿; 当施加的电压较低时, 击穿发生在冲击波尾; 当电压很高时, 放电时间减至很小, 击穿可发生在波前。若每级电压下, 只有一个放电时间, 则可根据

伏秒特性的定义绘得伏秒特性如图1所示。实际上放电时间具有分散性, 于是每级电压下, 可得一系

列放电时间, 所以实际上伏秒特性是以上、下包线为界的一个带状区域, 如图2所示。

工程上采用50%伏秒特性。即在每级电压下, 可于上下限间选择到一个放电时间数值, 使放电时间小于该值的概率等于50%。将不同电压下获得的数值连接起来, 便可得到50%伏秒特性, 如图2

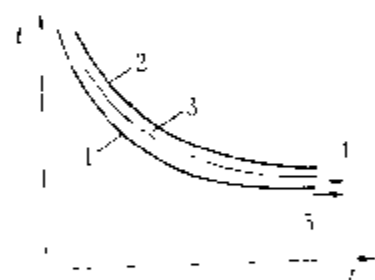


图2 实际伏秒特性的带状区域和50%伏秒特性
1—0伏秒特性; 2—100%伏秒特性; 3—50%伏秒特性;
4—50%冲击击穿电压;
5—0冲击击穿电压

不同设备特别是避雷器与被保护电器绝缘的冲击击穿特性。若某间隙FA1的50%冲击击穿电压高于另一间隙FA2的数值, 并且间隙FA1的伏秒特性始终位于间隙FA2之上, 如图3所示, 则在同一电压作用下, FA2都将先于FA1而击穿。于是若将两间隙并联, FA2就可对FA1起保护作用。但若如图4所示, 间隙FA2及FA1的伏秒特性相交, 则虽然在冲击电压峰值较低时, FA2能对FA1起保护作用, 但在高峰值冲击电压作用下, FA2就不起保护作用了。也就是说, 尽管FA1的50%冲击放电电压高于FA2的数值, 但在较高峰值的冲击波作用下,

反而是FA1先击穿。在考虑不同间隙的绝缘强度配合时, 为了更全面地反映间隙的冲击击穿特性, 就必须采用间隙的伏秒特性之间的相互比较。从图4可知, 保

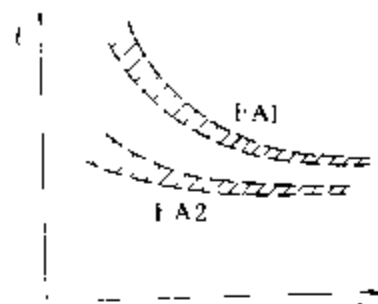


图3 极不均匀电场间隙(FA1)和均匀及稍不均匀电场间隙(FA2)的伏秒特性

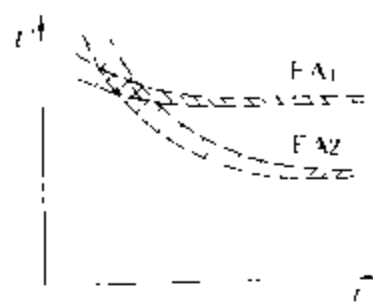


图4 两个间隙的伏秒特性发生交叉的示意图

护设备(如避雷器)的伏秒特性总希望平坦一些, 即应采用电场较均匀的结构。

(朱德恒)

fute

伏特 (volt)

国际单位制(SI)中电位、电压、电动势等量的单位。伏特简称伏, 符号为V。导线中流过1A恒定电流时, 若导线的两点(即两个等位面)之间消耗的功率是1W, 则这两点之间的电位差定义为1V。

(肖达川)

fuzhu cunchugqi

辅助存储器 (auxiliary storage)

计算机存储系统内为弥补主存储器容量不足而采用的存储设备, 又称外存储器或文件存储器。它不能被中央处理器随机访问, 但可在控制器的控制下, 成批地与主存储器交换指令和数据。其特征是存储容量大, 可靠性高, 非易失性, 存取时间较长, 每位价格低。

基本原理 辅助存储器由一种或多种存储设备组成。最常用的是磁表面存储设备, 它用磁薄膜作存储介质, 利用磁性材料的两种不同剩磁状态来存储二进制信息, 通过磁头与磁表面相对运动先找到信息块, 然后进行读、写操作。磁表面存储设备属非易失性设备, 在断电后仍能保存信息。一些设备的记录媒体(如磁带、软盘)可以拆卸, 脱机存放。

类型 根据存取方式可分为: ①顺序访问存储设备: 严格按照信息的物理顺序定位与访问, 如磁带机。②直接访问存储设备: 既可顺序又可直接访问记录, 存储设备的读写机构能直接寻址到某存储小区, 随后顺序读或写, 其存取速度快, 如磁盘机。

磁盘存储设备在20世纪内仍占辅助存储器的主导地位。集成电路存储卡由于速度快, 越来越多地得到

应用。光盘存储器是新型大容量的辅助存储器,它在不断地更新换代,可重写型光盘已用于文件系统,展现出美好的应用前景。

(胡德河)

tudianxing qiti jichuan

负电性气体击穿 (breakdown in electronegative gases) 在电场作用下,负电性气体由绝缘状态突变为良导电状态的过程。容易吸附电子而形成负离子的气体称为负电性气体。含卤族元素(如F、Cl、Br、I)的一些气体是负电性很强的气体。

高电气强度 负电性气体的击穿可以用汤森放电理论或流注放电理论解释。工程上使用的是气压大于0.1 MPa的负电性气体,此时的击穿过程需用流注放电理论解释。与空气相比,负电性气体的击穿电场强度较高。例如,均匀电场中气压为0.1 MPa的SF₆的击穿场强约为空气击穿场强的3倍,而其他一些负电性气体的击穿场强还大于或略低于SF₆。由于负电性气体的击穿电场强度较高(见表),所以它们也被称为高电气强度气体。

一些负电性气体的击穿特性

气体	$(E/p)_{crit}$	$(ph)_{crit}$
C ₂ Cl ₂ F ₄	1.71	3
CBrClF ₂	1.52	5
C ₂ ClF ₅	1.17	7
CCl ₂ F ₂	1.04	10
C ₃ F ₈	1.03	13
SF ₆	1	6
C ₃ F ₆	0.97	7
C ₂ F ₆	0.78	9

卤化物气体具有高电气强度的原因是:①这些气体有很强的负电性,气体分子容易吸附电子形成负离子,减少了自由电子;②这些气体的分子直径大,电子在其中的自由行程短,不易积聚能量,减弱了电子的碰撞电离能力;③电子和这些气体分子相遇时,易使分子发生极化等过程,能量损失增加,也减弱了电子的碰撞电离能力。

临界(场强/气压)值 气体的电子碰撞电离系数 α 与电子附着系数 η 之差称为电子有效碰撞电离系数 $\bar{\alpha}$ 。 $\bar{\alpha}$ 随电场强度 E 与气体压力 p 之比 E/p 而变。使 $\bar{\alpha}=0$ 的 E/p 值称为临界(场强/气压)值 $(E/p)_{crit}$ 。 $(E/p)_{crit}$ 是气体击穿的重要特性之一,仅当 (E/p) 大于 $(E/p)_{crit}$ 时, $\bar{\alpha}>0$,电子崩才会发展而导致击穿。空气的 $(E/p)_{crit}$ 为24.4 kV/(mm·MPa),SF₆的 $(E/p)_{crit}$

为88.5 kV/(mm·MPa),其他一些负电性气体与SF₆的 $(E/p)_{crit}$ 之比见表。对于负电性气体,当 (E/p) 大于 $(E/p)_{crit}$ 时, $\bar{\alpha}$ 随 (E/p) 的增加而迅速上升,所以发生击穿时的 (E/p) 只比 $(E/p)_{crit}$ 值略大。

电极表面突出物的影响 提高气体压力可以提高气体的击穿电场强度。电极表面有明显突出物时,突出物附近局部区域电场强度剧增,使该区域内的 $\bar{\alpha}$ 迅速上升,电子崩发展,形成流注,导致整个电极间隙击穿。此时,宏观击穿场强与气压之比将小于 $(E/p)_{crit}$ 值。表面突出物的影响程度与气体压力 p 有关。当表面突出物的高度 h 与气压 p 之乘积 ph 超出临界值 $(ph)_{crit}$ 时,突出物才有影响,即击穿时的 (E/p) 值将小于 $(E/p)_{crit}$ 。 $(ph)_{crit}$ 也是气体击穿的重要特性之一。对一定的突出物高度 h ,当气体压力 p 增加到使 ph 值超过 $(ph)_{crit}$ 值时,气体击穿场强随气压增加的趋势将减弱。

一些负电性气体的 $(ph)_{crit}$ 值见表。

击穿电压的概率分布 气体击穿电压是随机变量。在均匀或稍不均匀电场中,负电性气体的击穿电压 U 遵从贡贝尔(Gumbel)分布,概率分布函数为

$$F(U)=1-\exp\left\{-\exp\left[\frac{U-U_{63}}{(U_{63}-U_{05})/3}\right]\right\}$$

式中 U_{63} 、 U_{05} 分别是击穿概率为63%、5%的电压值。

面积效应 当电极面积增大时,出现严重突出物和其他缺陷的概率也增大,因而负电性气体的击穿电压下降。这种电极面积增大使击穿电压下降的效应称为面积效应。面积效应与气体压力有关,气压越高,面积效应越显著。

(谈克雄)

fulizi de xingcheng

负离子的形成 (formation of negative ions)

电子和某些种类的气体原子或分子相碰撞,“附着”于后者而形成负离子的过程。如F、Cl、Br、O、O₂等原子和分子都易吸附电子形成负离子,因为它们最外面的电子壳层都是不满的,容易附着电子。这种吸附电子的本领叫做电子亲合势,它数值上等于处于基态的中性原子的能量和它吸附电子形成的负离子的基态能量之差。若这个值是正的,就说明形成的负离子是稳定的。

负离子形成的方式有:中性原子吸附电子形成负离子,并辐射出光子;电子、中性原子以及有第三个粒子参加的三体碰撞,形成负离子,并使第三个粒子激励。

具有较高电子亲合势的气体,如SF₆、CCl₂F₂等气体易于吸附电子,形成大量的负离子。和电子相比,离子不易引起分子电离,从而提高了电气强度。如SF₆的

电气强度比空气的要高 2.5 倍左右。

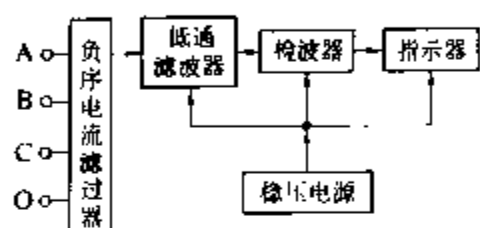
(罗承沐)

fuxu dianliubiao

负序电流表 (negative sequence current meter)

用于测量三相电路中负序电流的电表。当系统中三相负载不对称或发生不对称短路故障时,便存在负序电流。负序电流将导致电机转子附加发热和机械振动。因此,监测系统中的负序电流,是保证电力系统安全运行必不可少的措施。

负序电流表一般由负序电流滤过器、低通滤波器、



负序电流表框图

检波器、指示器和稳压电源等部分组成,如图所示。负序电流滤过器由电流互感器和阻容元件构成的移相器组成。

对于三相平衡负载,负序电流滤过器没有输出;当三相负载不平衡时,负序电流滤过器输出与负序电流分量成比例的交流电压。低通滤波器将此交流电压中的高次谐波分量滤去,仅允许基波分量通过。检波器的任务是将与基波负序电流成比例的交流电压信号转换成相应的直流电压信号,用以驱动指示器。指示器指示基波负序电流的有效值。如有必要,仪器内部还可附设报警器,当被测系统中负序电流值超过某一规定值时,即可发出报警信号。

(许 遐)

fudianronglu

复电容率 (complex permittivity)

能同时反映电介质在交变电场中极化与损耗特性的物理量。由于介质损耗的存在,交变电场作用时,通过介质的电流包含一个大的容性电流(其电流密度为 $j\omega\epsilon E$, ω 为电场角频率, ϵ 是介质电容率, E 为电场强度)和一个小的阻性电流(其电流密度表示为 σE , σ 为等值电导率; E 为电场强度),总电流密度 J 可以表示为

$$J = (j\omega\epsilon E + \sigma E)$$

对照理想介质的电容电流密度表示式

$$J_C = j\omega\epsilon E$$

定义复数

$$\epsilon^* = \epsilon - j \frac{\sigma}{\omega} = \epsilon' - j\epsilon''$$

为复电容率,其实部即是介质的电容率,虚部 ϵ'' 可表示介质损耗的大小。虚部与实部之比 ϵ''/ϵ' 正好是介质损

耗角正切 $\tan\delta$ 。复电容率的实部和虚部都是温度和频率的函数。

(刘辅宜)

tufeilu diannengbiao

复费率电能表 (multi rate kWhmeter)

测量每日限定的各分段时间内的电能,以便按不同费率计价的电能表,又称分时计度电能表,多费率电能表。复费率电能表具有若干个记度器,各个记度器分别在规定的时间内工作,不同的时间对应不同的电价。采用复费率电能表可将高峰和低谷用电分开计量,分别计费,是一种用经济手段调节用电负荷的有效措施。

复费率电能表是由电能表机构、复费率计度器和时间开关构成。分为两种:一是双费率电能表,有两排字轮分别累加两种分段时间(如峰、谷负载)的电能;一是三费率电能表,有三排字轮分别累加三种分段时间(如峰、谷、平负载)的电能(参见彩图插页第 6 页 28 图)。每日时间的分段由同步电机控制的时间开关来完成。时间开关的整定盘每 24 h 转一整圈,在盘的周边装有可移动的拨杆,根据用电负载情况进行时间分段。当盘转到整定时间位置,拨杆使触点接通(或断开)电路,复费率计度器上的继电器动作,切换电能表圆盘的传动机构,使一排字轮停止计数,同时另一排字轮进入计数。

复费率计度器按其传动方式分为机械式和电脉冲式两种。机械式复费率计度器中圆盘的转动直接经减速轮系传至字轮。电脉冲式复费率计度器是把圆盘的转数经光电元件变为电脉冲数,由步进继电器推动机械减速轮系传至字轮。因此机械式复费率计度器装于电能表内,脉冲式复费率计度器是在电能表外的一个单独附件。

复费率电能表测量电能的原理和特性与电能表相同,其准确级别有 1 级及 2 级。时间开关的时钟允许走时误差每日为 $\pm(0.5 \sim 1.5)$ s,最小时段为 1 h,功率消耗小于 1.6 W,停电后干电池可连续工作时间在 100 h 以上。

(程世稿)

fugonglu

复功率 (complex power)

正弦电流电路中,实部为平均功率、虚部(或负虚部)为无功功率的复数量。复功率是用相量法分析正弦电流电路时的一个辅助计算量,令二端网络或元件中有功功率为 P 、无功功率为 Q ,则复功率等于电压相量 \dot{U} 与电流相量 \dot{I} 的共轭复数 \dot{I}^* 的乘积,即

$$P + jQ = \dot{U} \dot{I}^*$$

或定义复功率等于电压相量 \dot{U} 的共轭复数 \dot{U}^* 与电流相量 \dot{I} 的乘积, 即

$$P - jQ = \dot{U}^* \dot{I}$$

由以上二式可知: 复功率的模等于视在功率, 它的幅角 (或幅角的负值) 等于功率因数角。

有功功率、无功功率和复功率都遵守能量守恒定律。即正弦电流电路中各阻抗元件吸收的有功功率之和、无功功率之和和复功率之和分别等于各电源发出的有功功率之和、无功功率之和和复功率之和。引入复功率这一概念给电力网的潮流计算带来很多方便。在谐波潮流计算中也多引用谐波复功率进行分析计算。

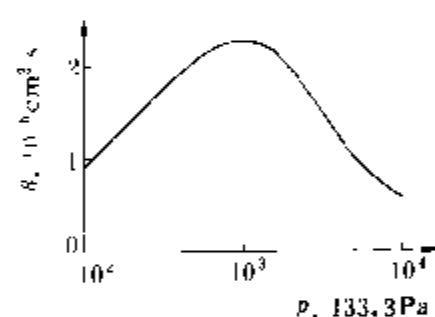
(孙树勤)

fuhe

复合 (recombination) 带正电的粒子和带负电的粒子相碰撞, 形成中性原子或分子的过程。复合是电离的逆过程。在复合过程中要放出电离所需的电离能。复合是气体放电区域中, 带电粒子消失的主要过程之一。

复合的种类有: ①电子 e 和正离子 A^+ 之间的碰撞复合, 复合时多余的能量以光子 $h\nu$ 的形式释放出来, 如下式所示: $A^+ + e \rightarrow A + h\nu$ 。式中 A 为中性粒子; h 为普朗克常数; ν 为光的频率。②正负离子之间的碰撞复合, 多余的能量使中性粒子发生激励 (上标 * 表示激励): $A^+ + B^- \rightarrow A^* + B^*$ (或 AB^*)。③在以上两种复合过程中, 还有第三个粒子 (电子、正离子或中性分子) 参加的三体碰撞复合。第三个粒子的参加有助于复合过程的进行。

复合可以发生在气体中、电极上或容器壁上, 其结果减少了电离气体中的自由电荷数, 降低了它的电导



20℃时空气中离子—离子
复合系数随气压的变化
曲线

率。在电离气体中, 若不持续加上外界的电离因素, 其电离度很快就会降低到可以忽略的程度。在电离气体中, 由于复合的作用, 其带电粒子的数密度 n 随时间 t 而减小的规律为

$$\frac{dn}{dt} = -\beta n^2$$

式中 β 是复合系数。它表征了复合过程的快慢, 它和气体的种类和气压有关。空气中 β 随气压 p 变化的规律如图所示。

(罗承沐)

fuhe canliao

复合材料 (composite materials) 以高分子化合物为基体与粉状、纤维状或薄片状材料粘合而成的材料。其特点是综合性能好, 特别是通常具有较高的机械强度。

用作电气绝缘的复合材料大致分为三类: 纤维状填料的复合材料、粉状或短纤维填料的复合材料和复合箔。

纤维状填料的复合材料 最常用的玻璃钢就是以长玻璃纤维或其织物为增强材料; 高压电机线圈绝缘实际上也是一种玻璃钢, 但除玻璃布外, 还有粉云母纸或片状云母以提高绝缘强度; 组合电器用的增强材料是采用聚酯纤维织物, 以避免六氟化硫气体分解产物对玻璃纤维的腐蚀作用。

粉状或短纤维填料的复合材料 通常用模压法将其制成电器零件, 填料有木粉、石英粉、石棉粉和短玻璃纤维等。填料的作用是降低成本、降低材料的热膨胀系数和热收缩量, 有时也能提高机械强度。

复合箔 绝缘纸 (包括无纺布) 和绝缘薄膜的复合制品。具有薄膜的电气绝缘性能和耐热性, 又具有纸的抗撕裂性能, 因此广泛用作电机的槽绝缘、线圈相间和匝间绝缘。常用薄膜有聚酯薄膜、聚酰亚胺薄膜等; 常用绝缘纸有青壳纸、聚酯纤维纸、聚酰胺纤维纸和聚芳酰胺纤维纸 (Nomex) 等。

(巫松楨)

G

gaodianya celiang

高电压测量 (high-voltage measurements)

研究测量高电压的方法、仪表和装置的技术。测量的对象是高电压技术领域内电压、电流的峰值及其波形。对测量的基本要求是安全、可靠和准确。测量方法可分为直接测量法(例如使用测量球隙、静电电压表等方法)和间接测量法(例如使用分压器、高欧姆电阻器等方法)。测量仪器的类型可分为模拟式和数字式两类,目前高电压测量仪器已向数字式仪表方向发展。高电压测量的基本内容包括:交流高电压测量、直流高电压测量、冲击高电压测量和冲击大电流测量等。

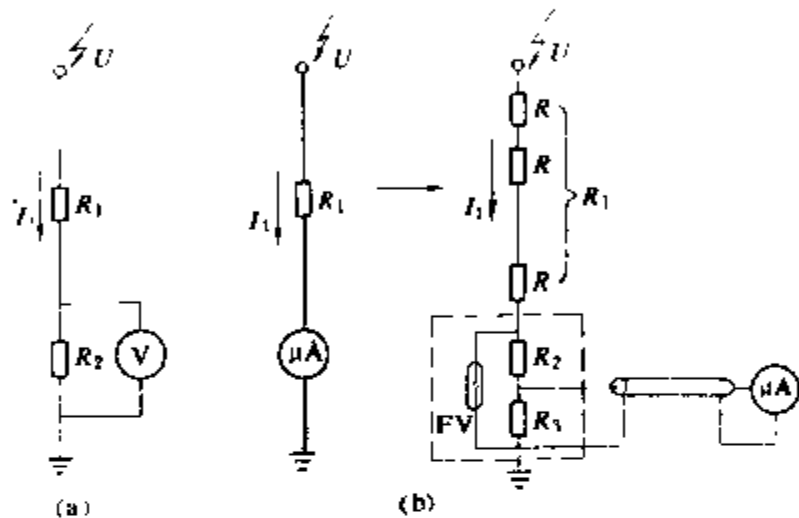
交流高电压测量 一般是测量其有效值。除可用高压静电电压表或测量球隙相应地直接测量其有效值或峰值外,目前普遍使用电容分压器和低压静电电压表或其他仪表一起来测量其有效值。后一种测量方法的优点是量程广、可靠准确,使用安全方便。若低压臂并联连接峰值电压表可测量峰值,并联连接电子示波器可测量波形。峰值或有效值的测量误差按中国国家标准 GB311.4-83《高电压试验技术第三部分·测量装置》的规定应不大于3%。

直流高电压测量 通常是测量其平均值,测量误差按中国国家标准 GB311.4-83《高电压试验技术第三部分·测量装置》的规定应不大于3%。可用静电电压表或测量球隙相应地直接测量其平均值(因有效值与平均值相差很小)或峰值,但目前更普遍使用电阻分压器和低压静电电压表或其他仪表相配合,或者是高欧姆电阻器与微安表相串联来测量直流高电压,如图所示。其优点也是量程广,测量可靠准确,使用方便安全。这两种方式都需要有一个能在高电压下稳定工作的高欧姆电阻器 R_1 。 R_1 由许多个电阻元件 R 串联而成(一般一个电阻元件的额定工作电压最大约1kV)。图中FV是放电管或稳压管,用于防止低压部分(虚线框内)出现过电压; I_1 一般选为1mA。

冲击高电压测量 测量峰值和波形。按中国国家标准规定峰值测量误差不大于3%。波形误差的规定见冲击电压发生器。可用测量球隙测量峰值,但目前多

用分压器和峰值电压表相配合测量峰值;用分压器和高压电子示波器相配合测量冲击波形。而用分压器与数字式示波器或瞬态记录仪相配合可同时测得波形和峰值。分压器可根据要求选用电阻分压器或阻尼式电容分压器。

冲击大电流测量 测量峰值和波形。按中国国家标准规定峰值测量误差不大于3%,波形时间参数的测量误差不大于10%。一般用分流器或变流线圈(即罗戈夫斯基线圈)经积分器接峰值电压表测量峰值,若接高压电子示波器可测量波形。和数字式示波器或瞬态记录仪相接则可同时测得波形和峰值。



测量直流高电压的原理接线图

(a) 电阻分压器; (b) 高欧姆电阻器串联微安表

(王昌长)

gaodianya jishu

高电压技术 (high voltage technique)

研究有关高电压的理论、实验、应用的电工技术。它研究在高电压作用下电介质的放电和绝缘性能,高电压、大电流的产生及测试方法,过电压的产生机理和防护措施,高压静电场的计算和实测,强电磁环境及其保护,高电压的应用等。电力运行和使用部门从安全角度出发,常把250V以上电压称作高电压。至于高电压技术所涉及的范围主要是在几十千伏至几兆伏电压下的一些技术问题。

发展简史 高电压技术最初是随着物理研究和输电工程的出现而发展起来的。德国物理学家W. K. 伦琴(W. K. Röntgen)于1895~1896年发现X射线并用于人手骨骼的摄像时,已经应用了高电压技术。英国物理学家E. 卢瑟福(E. Rutherford)于1911年根据 α 粒子轰击金箔引起散射而提出原子模型时,也应用了高电压技术。不少高电压技术理论是以物理学家命名的,如巴申定律、汤森放电理论等。一些高电压试验设备也是以物理工作者命名的,如考克饶夫倍压装置、范德格拉夫静电发生器等。高电压技术不仅在历

史上与物理研究有渊深关系,它还在目前的高能物理、热核聚变和激光器等的研究工作中起到了重要的作用。然而,高电压技术作为一门与国民经济密切相关的技术科学,是随着输电技术的发展而蓬勃开展起来的。当1891年从德国劳芬(Lauffen)到法兰克福建造了长度为170 km的15 kV三相输电线时起,就开始了高电压技术在输电工程中的实际应用。为了增大输电容量和距离以及减少输电损耗,电力网有不断提高工作电压的必然趋势。当输电线路电压超过35 kV时,由于针式绝缘子的造价与电压成立方关系,此时就出现了盘形悬式绝缘子链。当线路电压上升到110~120 kV时,电晕(见电晕放电)现象严重,于是在1910~1912年间美国J. 皮克(J. Peek)等人研究了电晕损耗问题,并采用了直径较大的钢芯铝绞线以代替铜线。当电压上升到200~220 kV时,由于绝缘子链上电压分布不均匀,需要采用均压环以改善绝缘子链的电压分布。到20世纪中叶之后,交流输电线路的额定电压达到了超高电压(330~750 kV)的水平,80年代达到了特高压(≥ 1000 kV)的水平。与此同时,高压直流输电技术也得到了快速发展。图1示出了苏联历年输电电压的上升概况,由此可以看出这一时期工业先进国家的电力发展水平。中国自1949年以来,电力工业迅猛发展。输电电压上升的概况见图2。随着输电电压的提高,高电压技术获得不断发展并逐步形成学科并扩大了学科领域。

学科领域 主要包括:①电介质击穿理论;②高电压绝缘;③电力系统过电压及其限制措施;④高电压试验技术;⑤高电压静电场的研究;⑥强电磁环境及其防护的研究。

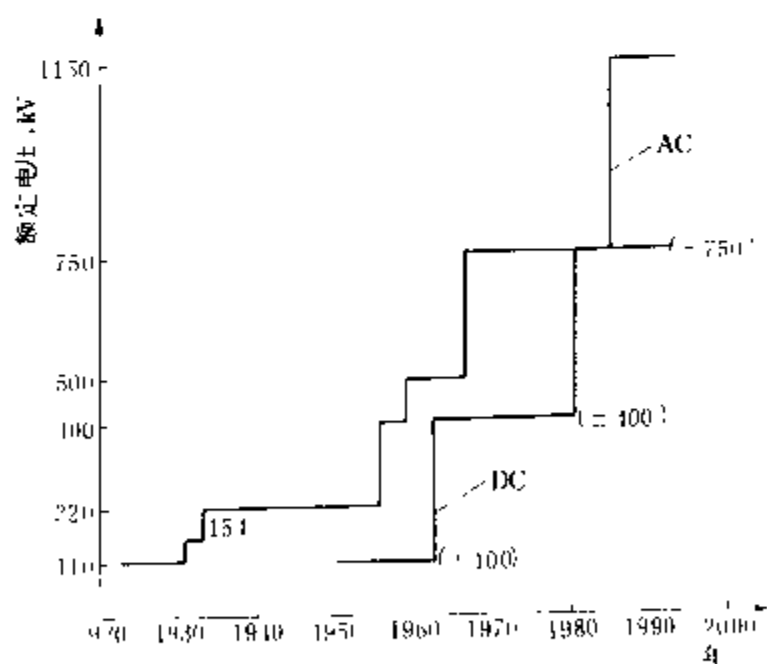


图1 苏联输电电压上升概况
AC—交流; DC—直流

电介质击穿理论 主要研究各种放电现象,分析在气体、液体、固体电介质中和介质界面间的放电发展

过程和击穿机理,研究绝缘材料的各种特性以及这些特性在一定环境条件下随时间的演变过程及老化机理。由于这方面的知识涉及物质的微观结构,故称为高电压技术的物理基础。到20世纪90年代为止,除了气体击穿理论比较系统外,固体电介质击穿尤其是液体电介质击穿的理论,还不十分完整。总的说来,电介质击穿理论离定量分析还有相当距离。

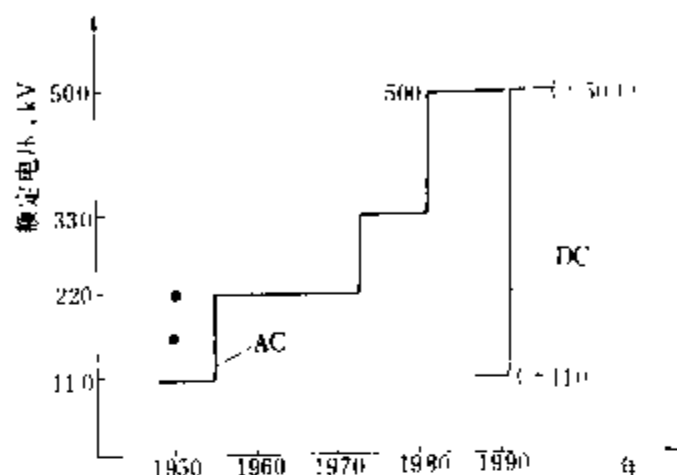


图2 中国输电电压上升概况
AC—交流; DC—直流

高电压绝缘 研究电力设备如变压器、电机、电容器、高压断路器、电缆、绝缘子的绝缘结构和试验。绝缘结构包括材料选用、结构设计和工艺过程三部分。材料选用需要材料科学包括电介质击穿理论的知识。结构设计需要计算、分析或测量复杂结构中电场及电位分布的知识。绝缘材料在制备工艺过程中要除潮、除气、除杂质,尤其要去除金属杂质。常用的手段是真空浸渍。对电力设备绝缘的试验,很重要的是在高电压下的试验。高电压试验可以分为两类:耐压试验和非破坏性试验。耐压试验是对设备施加较高的电压,直接检验绝缘承受电压的能力。由于所加电压较高,对于在击穿后无自恢复绝缘性能的电力设备,这是一种破坏性试验。非破坏性试验主要是指所加电压较低,通过测量绝缘电阻、电容比值、介质损耗角正切值、局部放电量等参数,间接判断绝缘状态的一种试验,又称预防性检查或绝缘诊断。目前正在发展在线检测,即在设备不停电的情况下,随时经由各类传感器进行监测,并通过微机计算、分析、储存和报告绝缘状态,出现异常时则发出警报。(见绝缘诊断技术)

电力系统过电压及其限制措施 由于外部或内部的原因,有时电力系统的电压可瞬间或短时超过正常运行的最高电压,这种状态称为电力系统过电压,过电压会给电力装置的绝缘造成无可挽回的损坏,必须采取措施,防止它的产生或限制它的峰值。由过电压产生的机理,可分为外部和内部两个方面:①外部产生的过电压,也叫大气过电压。它由直接雷击或因雷击线路耐

近所产生的感应电压所造成。这种过电压持续的时间(单次)一般为微秒级,称作雷电冲击。为了防止它的破坏作用,采取了输电线上装设架空地线、降低杆塔的接地电阻、在变电所内装设避雷针和避雷器等措施。②内部产生的过电压,称作内过电压,其中包括操作过电压。它是由正常操作、故障或清除故障时系统过渡过程所造成的电压。这种过电压持续时间通常为毫秒级,它的峰值与运行电压相关,常以运行电压的若干倍来表示。它的波形与电力系统状态有关,而且多种多样。为了防止它的破坏作用,常用的限制其峰值的措施有:调整线路参数,装设并联电抗器,在操作断路器触头上装设并联电阻,装限压器等。

高电压试验技术 包括高电压和大电流测试技术两个方面。

为了检验电力设备绝缘在运行中的可靠性,需研制能产生各种类型电压的试验电源,如交流试验变压器或串联谐振装置、直流高压发生装置、冲击电压发生装置等。还要研制测量这些电压的装置,如各种高压电压表、各种高压分压器、高压电子示波器及数字采集系统等。汇集各种高压测试设备的高电压试验室的规模、参数和设备内容,可以反映一个国家或一个单位的高电压技术水平。

对于电力系统中的断路器、避雷器等高压电器而言,除了耐压或放电试验之外,还需进行有关遮断电弧能力方面的试验。为此要研究电弧的特性和迅速熄弧的措施,还需要有大容量的交流电流试验设备,如冲击发电机、振荡回路、合成试验回路等。对于避雷器,还要研究雷电流通过时的许多特性,因此还需要具有能产生大冲击电流的冲击电流发生装置和方波电流发生器等;相应地还需研制能测量冲击大电流的诸多仪器设备如分流器、罗戈夫斯基线圈等。此外,脉冲功率技术适应了技术物理、高能物理和新型加工的需要,对有关冲击电流的发生及测试装置,提出了更高的要求。对于工频大电流设备的研制和试验,也可划归电器学的技术领域。

高电压静电场的研究 主要研究高压设备或输电线绝缘中的静电场分布,研究求解静电场的各类计算和实验方法,以便最终实现对电场强度的控制,避免放电现象的产生,使绝缘能充分发挥作用,达到减小电气设备的尺寸和重量的目的。

强电磁环境及其防护的研究 主要研究强电磁场对人体健康的影响,对通信和电子设备及计算机等弱电装置的干扰,以及相应的防护措施。研究的课题有:电磁场的生理效应,高压设备及输电线所产生的无线电干扰、电视干扰、可听噪声、静电感应等等。

应用与发展方向 高电压技术主要应用于电力系

统和电工制造部门,实质是解决电力设备的绝缘问题。此外,它还在多个技术领域得到了广泛的应用。它和下列技术或应用密切相关:①静电技术的应用;②放电效应的应用;③高功率脉冲技术;④电磁兼容等。

(张仁豫)

gaodianya jueyuan shiyan

高电压绝缘试验 (high voltage insulation tests) 确定电气设备的绝缘结构或绝缘模型在高电压作用下的电气性能的试验。通过试验对绝缘的设计及计算,材料及工艺的质量,运行中的劣化等作出评价。

电力工程对高压电气绝缘的电气性能、机械性能、温度和热稳定性及化学稳定性都有一定的要求。高电压绝缘试验通常只包括对电气性能的考核,其值诸方面的影响因素则作为电气试验的条件来加以考虑。

高电压绝缘的电气性能主要表现在强电场作用下的导电性能,介质损耗和绝缘强度三个方面。

导电性能试验 正常绝缘的导电能力应很弱,受潮或劣化的绝缘,其绝缘电阻会下降,泄漏电流会增大。对导电性能进行测量的试验,在直流电压下进行,以避免位移电流的影响。这类试验主要有绝缘电阻试验和泄漏电流试验两项。①绝缘电阻试验。可通过专用的兆欧表进行,例如有一种是内附手摇发电机的兆欧表,也称作摇表。用它可直接测出绝缘电阻的数值。在进行绝缘材料研究时,可采用能测量高于 10^9 MΩ 电阻值的高阻表来测量绝缘电阻。②泄漏电流试验。在直流高电压作用下,测量通过绝缘的微弱电流。泄漏电流试验和绝缘电阻试验的原理相同,只是前者的试验电压较高,使测试的灵敏度增高。有时试验电压高达绝缘的耐受电压水平,即可和耐压试验同时进行。泄漏电流试验所用的电源是直流高电压发生器,所用的表计通常为微安表。

介质损耗试验 主要为介质电容率与损耗因数试验。由于绝缘介质在电场作用下出现极化现象和电导现象,介质在正弦交流电压的作用下,产生一定的功率损耗。损耗因数(介质损耗角正切)常用西林电桥来测量。在测量过程中同时可测得试品的电容量,经过计算可求出材料的电容率(介电常数)。

绝缘强度试验 有耐压试验、击穿试验及闪络试验。耐压试验是在一定的条件下对试品施加一定的电压,在经受一定时间之后,以是否发生击穿作为判断试样是否合格的标准,施加电压值一般高于试品的工作电压。要确切得出试品绝缘强度的数值就必须作击穿试验,它是在一定条件下逐渐增高施加于试品的电压,直到击穿为止。在一定条件下对试品施加电压直至在

气体或液体介质中沿绝缘表面发生的贯通性放电称为闪络试验。耐压试验、击穿试验或闪络试验所施加的电压可以是直流、交流、雷电冲击（全波和截波）和操作冲击电压。它们是考核高电压绝缘安全可靠性的最直接的试验。

进行击穿试验时，试品通常会发生破坏，因而不适用于对还要继续使用的设备。耐压试验有可能引起击穿或虽不引起击穿，但由于施加电压较高，会引起较强烈的局部放电，造成局部绝缘受损坏，因此这类试验通常称为破坏性试验。为防止试验引起材料破坏的积累效应，耐压试验不宜重复多次进行，当考虑有必要重复进行时应根据标准降低施加的电压。

短时间的耐压试验不能有效地考核长时间工作电压下绝缘的性能。绝缘内部缺陷或弱点在长期工作电压作用下会发生持续的局部放电，绝缘性能不断劣化，最终导致绝缘损坏。局部放电试验可以考核绝缘长期耐受电压的性能，近年来得到越来越广泛的应用。

耐压试验需要用相应的高电压试验和测量设备，还要求具备辅助的试验条件（例如淋雨装置等），这些试验通常在高压试验室内进行。近年来六氟化硫绝缘的电气设备得到广泛应用，提出了在现场进行直流、交流、冲击耐压试验的要求，促进了现场耐压试验装备技术的研究和发展。

为了对运行中的电气设备作连续监视，以便及时发现隐患，防止突发事件，国内外均已开展了在线进行高压绝缘试验的工作（见绝缘诊断技术）。

（王乃庆）

gaofenzi jueyuan caoliao

高分子绝缘材料 (polymer insulating materials) 以有机高分子化合物为基料的绝缘材料。主要成分是有有机高分子化合物，其分子量可高达数千甚至数百万以上，添加成分有增塑剂、稳定剂、固化剂、催化剂、填充剂、补强剂、阻燃剂等，可按使用要求进行选择。高分子绝缘材料可大致分为热塑性塑料、热固性塑料、橡胶、纤维材料、层压材料、绝缘涂料和薄层材料（薄膜、漆布）等。

高分子绝缘材料加工性能好、通过添加成分的变化，可以在很宽的范围内调节绝缘材料的绝缘性能、机械性能和耐热性能，甚至可调节耐化学性能、耐潮性能和耐辐射性能，以满足各种电气设备的不同性能要求。在各种绝缘材料中，它的应用范围最广、品种最多、生产量也最大。

高分子绝缘材料的工作温度通常比无机绝缘材料低得多，其工作温度上限或下限主要取决于高分子化合物的转变温度。结晶型高分子塑料、纤维及薄膜制

品，上限往往接近熔点；非晶型高分子塑料，上限往往接近玻化温度或分解温度。它们的下限都是脆折温度。橡胶的工作温度上限是粘流温度或分解温度，下限是玻化温度。

（巫松楨）

gaosi

高斯 (gauss) CGS 电磁制中磁感应强度的单位。高斯简称高，符号是Gs、G。将带有 1CGS 电磁制单位恒定电流的直长导线垂直放在均匀磁场中，若导线每厘米长度上受到 1 dyn（达因，1 dyn=10⁻⁵N）的力，则该均匀磁场的磁感应强度定义为 1 Gs。在国际单位制（SI）中，磁感应强度的单位是特斯拉（T）。这两个单位的换算关系是

$$1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$$

中国规定，高斯是暂时和国际单位制并用的磁感应强度单位。

（肖达川）

gaosi tongliang dingli

高斯通量定理 (Gauss flux theorem) 见电位移。

gaosu nuanchong cunchuqi

高速缓冲存储器 (cache memory) 处于中央处理器与主存储器之间，用于解决它们速度不匹配的存储器。由高速双极型半导体器件实现。它和主存储器的数据交换由硬件实现，对系统程序员透明。高速缓冲存储器由高速随机存储器、地址映射机构以及替换逻辑电路组成。

基本原理 高速缓冲存储器与主存储器划分为相同长度的字块，以便于数据交换。当中央处理器（CPU）进行读操作时，由地址映射机构判别所访问的字是否在高速缓冲存储器中，若在，则直接由高速缓冲存储器读入 CPU；否则，将包含该字的字块从主存储器装入高速缓冲存储器，同时将被访问的字直接送 CPU。当 CPU 进行写操作时，若该字单元在高速缓冲存储器中，则直接将它写入高速缓冲存储器，且同时更新主存储器，或在当它从高速缓冲存储器内被替换时写回主存储器。

替换逻辑电路 当主存储器的字块无法调入高速缓冲存储器的相应空间时，由替换逻辑电路按某种替换算法，将主存储器中的新字块覆盖在被替换的字块上。常用的替换算法有：①FIFO 算法：即先进先出算法，选择一个进入高速缓冲存储器时间最长的字块换出；②LRU 算法：即最近最少使用算法，选择 CPU 最

近最少访问的字块换出。

(胡德河)

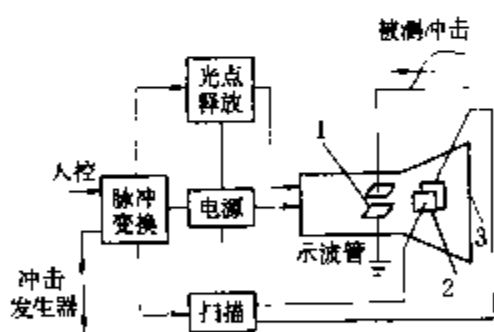
gaoya dianzi shibeqi

高压电子示波器 (high-voltage cathode-ray oscillograph)

记录快速一次过程电压信号、具有高加速电压的专用示波器。在高电压技术领域,应用它观测和记录一次过程的雷电冲击波或操作冲击波。在核物理、高能物理、力学等技术领域,也应用它记录高速动态现象。从20世纪70年代初开始,高速的数字示波器或记录仪(见数字采集系统)问世,它们除了抗干扰性能较差之外,其他的性能都优于高压电子示波器。

特点 由于要求的记录速度高,所以示波管内加速电子的电压(称为加速电压)较高,可达20 kV或更高。为了增强抗电磁干扰的能力,它的垂直灵敏度不高,即要求输入的被测电压信号峰值较高,一般为300~1000 V。从而可达到较高的信号与噪声比。鉴于同样的原因,这类示波器一般只有信号衰减器,极少装设增益器。为使示波器所记录的波形不失真,它应具有较高的频率响应特性。由于测量的是一次过程信号,需通过拍照的方法记录它所显示的波形,为此常采用发蓝色光的荧光屏。现在的商品,多数是双线示波器。中国国家标准GB311·4—83《高电压试验技术第三部分·测量装置》规定:示波器的峰值测量误差应不大于2%;波形时间的测量误差应不大于4%。

组成部分 高压电子示波器由电源、示波管、光点释放、扫描电路、脉冲变换电路等部分组成(见图)。



高压示波器的主要组成部分
1—现象极板; 2—时间极板;
3—荧光屏

示波器的电源部分是把220 V交流电转换成其他各部分所需要的直流高压或低压。有些高压示波器,在输入端装有一比一的隔离变压器,以隔离示波器接地端可能出现的瞬间高电位对交流电源的影响。光点释放部分是控制电子射线只在被记录的信号到来时,才让电子射线开放,被测信号消失后,就将射线自动闭锁,以避免具有高能电子束长时间地射到荧光屏上,烧损屏上的荧光层。扫描电路的作用是在示波器的水平偏转板上形成电压变化,使射线自左向右水平偏移。脉冲变换部分的作用是产生一个固定极性的陡脉冲,使光点释放动作,同时使扫描形成。它通

常由启动脉冲触发,也可由被测信号源所产生的电脉冲来触发。在调试示波器时,由“人控”按钮产生触发脉冲。

(陈昌彦)

gaoyalixia qiti jichuan

高压下气体击穿 (electrical breakdown in high-pressure gases)

在高气压的条件下,由于在电极间隙间施加高电压而引起的自持放电过程。在大气压下,在均匀电场中,空气的电气强度约为30 kV/cm。采用高气压的空气或高电气强度的气体介质,可获得近于或超过普通液体或固体材料(如变压器油或陶瓷)的电气强度。例如,在均匀电场中,为了承受500 kV的电压,可采用气压约2.9 MPa,长度为1 cm的空气间隙;或采用气压约0.8 MPa,长度为1.3 cm的SF₆气体间隙。

在高气压条件下,间隙中气体的数密度大,电子的平均自由程较小,电子在自由程中获得足够的能量使气体分子或原子电离的机会减小,即电离系数 α (见汤森放电理论)减小,削弱了气体中的电离过程,而使其电气强度增大。

在均匀电场中,在一定的气压范围内,间隙的击穿电压随气压成正比地增高,并遵守巴申定律:击穿电压只是和气压 p 与极间距离 d 的乘积 pd 有关。在大的 pd 值下,试验结果和巴申定律有差异,击穿电压随气压而增加的陡度减小。从图1可看出,在同样的 pd 值

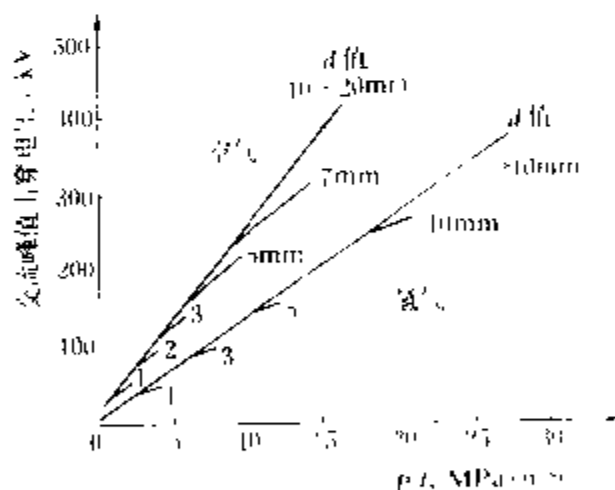


图1 空气和氢气击穿电压
和 pd 的关系

下,气压高、间距小的间隙,其击穿电压较低。在高气压下,电极材料和电极表面状况对间隙的击穿电压有影响。例如,不锈钢电极的击穿电压较高,而铝电极的击穿电压仅为不锈钢的70%。新加工好的电极,击穿电压较低,经多次放电“锻炼”后,其击穿电压有所升高。电极经抛光、除油或电极表面覆盖绝缘层都会提高击穿电压。此外,较大的电极面积、尘埃、水分都会使

击穿电压有所降低。

在不均匀电场中，高气压间隙的击穿电压下降较多，影响程度比大气

压下的要大。在尖板间隙上加直流电压，当尖为正极性时，会发生如图 2 所示的现象，即压力升高时，间隙的击穿电压会出现一个极大值。此外，在高气压下，湿度也会使间隙的击穿电压有较大的降低。

为了解释在高气压下，间隙的击穿电压并不随气压而成正

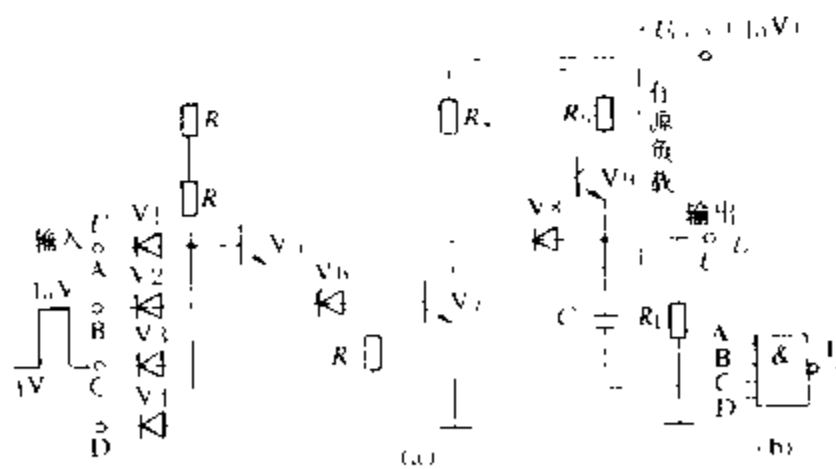
比地上升的现象，有人采用凸点模型来对间隙的击穿电压进行了计算。在电极表面存在一些凸点，它们引起局部电场强度的提高，使电离系数 α 值加大，这对电子崩和放电过程的发展更为有利，因而降低了间隙的击穿电压。有人观察到在高气压的 SF_6 气体间隙中，存在类似于真空击穿的现象，即电极表面的场致发射引发了整个间隙的击穿（见真空击穿）。

（罗承沐）

gaoyuzhi luojimen

高阈值逻辑门 (high threshold logic gate)

一种阈值电压较高的双极型集成逻辑门电路，简称 HTL 电路。在门电路中对应于输出高、低电平转折点的输入电压称为阈值电压。因为 HTL 的阈值电压比较高（一般为 7~8 V），所以噪声容限比较大，抗干扰能力较强，这是其主要优点。但由于它的输入部分是二极管结构，所以速度较低。这种电路适用于对电路的



HTL 典型电路

(a) 电路；(b) 逻辑符号

速度要求不高，但要求有很高的抗干扰能力的各种工

业控制设备中。

一个典型的高阈值 (HTL) 与非门电路如图所示。它是将原二极管——晶体管逻辑 (DTL) 电路中的抗干扰二极管改用稳压管 (V6) 的与非门电路。因为 $U_{V6} \approx 6 \sim 7 \text{ V}$ ，同时电源电压提高至 15 V，所以 V7 管导通时的输入电压即“阈值电压” U_{TH} 约为： $U_{TH} = -U_{V6} + U_{BE6} + U_{V6} + U_{BE7} \approx 6.7 \sim 7.7 \text{ V}$ ，从而使电路的抗干扰能力得到很大提高。

为了提高电路的带负载能力，输出级使用了有源负载。

（汤之璋）

gaozhibiao

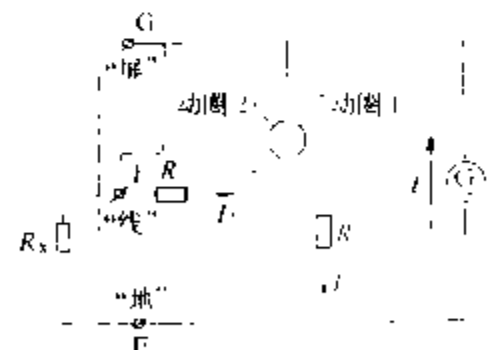
高阻表 (megger) 测量绝缘电阻的电表。其测量机构是磁电系流比计，标尺刻度以“兆欧”为单位，又称兆欧表、摇表。

高阻表的原理线路如图示。固定在转轴上的两个动圈同时处在永久磁铁产生的磁场中；电源 E 由手摇直流发电机或晶体管直流电压变换器供给； R_C 、 R_0 是附加电阻； R_x 是被测绝缘电阻。动圈 1 产生转动力矩 M_1 ，动圈 2 产生反作用力矩 M_2 ；由于 $M_1 = f_1(I_1, \alpha)$ ， $M_2 = f_2(I_2, \alpha)$ ，当两力矩平衡时，可动部分的偏转角 $\alpha = F(I_1/I_2)$ ，即与两电流的比值 I_1/I_2 有关，而与电源 E 的电压无关，这种测量机构也称磁电系流比计。对不同阻值的 R_x ， I_1/I_2 的比值相应地发生变化，从而给出不同的 α 角或电阻示值。

高阻表是检查电机、仪器仪表等电气设备或配电线路中，相互绝缘的导电部分之间或导电部分与外壳之间的绝缘电阻的测试工具。在使用高阻表进行测试时，要适当选择高阻表的电压及测量范围。

对不同的电气设备其绝缘电阻的测量有不同的测试电压要求，因此应按电气设备的电压等级选用不同额定电压的高阻表，以符合有关规程的规定。

在选择高阻表的测量范围时要使被测绝缘电阻的数值处在表盘上易于读取数据的部分。为减小读数误差，尽量避免读数处在表盘下限或上限刻度密集处。



高阻表原理线路图

当被测试品表面漏电严重时，可将高阻表的 G（或“屏”）接线柱与试品上的屏蔽环或屏蔽端相连，使漏电流不经过测量机构直接流回发电机的负极，避免由表面漏电流引起的测量误差。

用高阻表测量绝缘电阻时,为消除试品充电电流对读数的影响,一般需加压一分钟后读数。对大电容试品须等到指针稳定时方可取读数。

(王健)

genguijifa

根轨迹法 (root locus method) 利用根轨迹分析和设计闭环控制系统的图解方法。闭环控制系统特征方程的根,随系统某个参数由零变到无穷大时在复数平面上形成的轨迹,称为根轨迹。在控制系统的分析中,对特征方程根的分布的研究,具有重要的意义。

闭环控制系统的动态响应指标(响应时间、超调量等)是由闭环极点决定的。因此,在分析控制系统时,闭环极点在 s 平面(即复平面)上所处的位置至关重要。在设计控制系统时,可通过改变闭环极点在 s 平面上的位置来满足对系统动态响应的要求。求闭环极点,就是求特征方程的根。当特征方程式的次数大于 3 时,求根是相当复杂的。特别是研究系统参数变化对闭环特征方程式根的影响时,需要进行大量的反复计算,而且还不能直观地看出参数变化对系统动态响应影响的趋势。

根轨迹法是为了避免直接求解高次方程式的困难而提出的一种图解求根法。当系统的开环增益或其他参数改变时,特征方程式亦随之改变,所有这些特征方程式的根均可在根轨迹图上简便地确定。在根轨迹法中,通常取开环增益(或称开环放大系数)作为上述可变参数,并使它在其全部变化范围内变化,即从零变化到无穷大。采用开环传递函数的其他任何变量作为可变参数,也是完全可以的。

根轨迹原理 图 1 为控制系统框图,其开环传递函数为

$$\begin{aligned} G(s)H(s) &= \frac{KN(s)}{D(s)} \\ &= \frac{K(s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_m)}{s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_n} \\ &= \frac{K \prod_{i=1}^m (s + Z_i)}{\prod_{j=1}^n (s + P_j)} \end{aligned}$$

式中 $N(s)$ 和 $D(s)$ 为复变量 s 的多项式, $m \leq n$, K 为系统的开环增益, $-Z_i$ 为系统的开环零点(另有 $n-m$ 个开环零点在无穷远处), $-P_j$ 为系统的开环极点。控制系统的闭

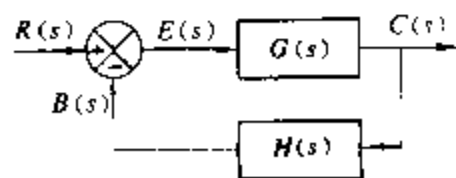


图 1 控制系统框图

环传递函数为

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} = \frac{G(s)D(s)}{D(s) + KN(s)}$$

系统的闭环极点是下列特征方程式的根

$$D(s) + KN(s) = 0$$

闭环系统特征方程式的又一形式为

$$1 + G(s)H(s) = 0$$

亦即

$$G(s)H(s) = -1$$

根据等号两边的幅角和幅值应分别相等的原则,可将上式分开写成两个方程,即

$$\begin{aligned} \text{幅角条件 } \angle G(s)H(s) &= \sum_{i=1}^m \angle (s + Z_i) - \sum_{j=1}^n \angle (s + P_j) \\ &= \pm 180^\circ \times (2k + 1) \\ &\quad (k = 0, 1, 2, \dots) \end{aligned}$$

$$\text{幅值条件 } |G(s)H(s)| = \frac{K \prod_{i=1}^m |s + Z_i|}{\prod_{j=1}^n |s + P_j|} = 1$$

满足幅角条件和幅值条件的 s 值,就是闭环系统特征方程式的根,也就是系统的闭环极点。幅角条件用来确定 s 平面上所有属于根轨迹的点,而幅值条件用来计算根轨迹上给定点所对应的开环增益 K 值,或是由给定的开环增益 K 值确定对应的闭环极点。

根轨迹图的绘制 绘制根轨迹图时,并不需要在 $s = \sigma + j\omega$ 平面上找很多点描绘它的精确曲线,而只需根据根轨迹上的特殊点和渐近线,算出复数开环极点的出射角和复数开环零点的入射角等,作出根轨迹的近似曲线。找出以下特征,可使绘制根轨迹图的过程显著简化。

(1) 根轨迹的分支数,根轨迹的起点和终点:当开环增益 K 从零变化到无穷大时,特征方程式的每个根可以描绘出一条连续曲线,它就是根轨迹的一个分支。根轨迹的分支数与特征方程式根的数目相同。根轨迹的每一分支,从一个开环极点出发,终止于一个有限的开环零点或趋向于无穷远处的开环零点。

(2) 实轴上的极轨迹:实轴上右方的开环实数极点和实数零点(有限的而不是无穷远处的)的总数为奇数的线段为根轨迹。

(3) 根轨迹的渐近线:当开环极点数 n 大于开环(有限)零点数 m 时,有 $(n-m)$ 条根轨迹分支分别沿着与实轴交角为 β 、交点为 σ_a 的渐近线趋于无穷远处。

$$\beta = \frac{(2k + 1) \times 180^\circ}{n - m} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n - m - 1)$$

$$\sigma_a = \frac{\sum_{j=1}^n P_j - \sum_{i=1}^m Z_i}{n - m}$$

(4) 根轨迹的分离点和会合点: 如果实轴上的根轨迹线段位于两个相邻的开环极点或两个相邻的开环零点之间, 则这样的线段是分别属于两个分支的。两个开环极点之间必有一个分离点, 两个开环零点之间必有一个会合点。分离点或会合点在实轴上的位置(即坐标 σ_s) 可通过求解下列方程而得 $\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_s + P_i} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_s + Z_j}$ 。

(5) 偏离角: 即根轨迹离开复数开环极点的出射角或到达复数开环零点的入射角。借助幅角条件可以方便地确定偏离角的大小。

(6) 根轨迹与虚轴的交点: 若根轨迹与虚轴相交, 则可令特征方程式中 $s=j\omega$, 然后再分别使实部和虚部等于零, 求出交点的 ω 值和 K 值。

根轨迹的最重要的部分是靠近虚轴和原点的部分, 必须把这一部分画得精确些。有了控制系统的根轨迹, 就可以根据已知的 K 值确定闭环系统的极点, 从而知道系统的性能; 反之, 根据对系统性能的要求, 确定所需的极点分布, 也可以求出相应的 K 值或采取必要的措施。

例如, 系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+2)(s+4)}$, 要求作根轨迹图。步骤如下。

(1) 求根轨迹的分支数: 开环极点为 0, -2, -4, 开环零点在无穷远处, 根轨迹有三个分支。

(2) 确定实轴上的根轨迹: 实轴上 0 与 -2 之间、-4 与 $-\infty$ 之间是根轨迹线段。

(3) 求根轨迹的渐近线: 有三条根轨迹的渐近线, 与实轴的交角分别为

$$\beta = \frac{(2k+1) \times 180^\circ}{3-0} \\ = 60^\circ, 180^\circ, 300^\circ \quad (k=0, 1, 2)$$

与实轴交点的坐标为 $\sigma_s = \frac{(0-2-4)-0}{3-0} = -2$ 。

(4) 求根轨迹的分离点: 由方程 $\frac{1}{\sigma_s+0} + \frac{1}{\sigma_s+2} + \frac{1}{\sigma_s+4} = 0$ 求得分离点 $\sigma_s = -0.845$ 。

(5) 求根轨迹与虚轴的交点: 将 $s=j\omega$ 代入特征方程式

$$j\omega(j\omega+2)(j\omega+4) + K = 0$$

令上式中虚部和实部分别为零, 则

$$-j\omega^3 + j8\omega = 0$$

得 $\omega = \pm 2.828$, 这是交点 ω 值。

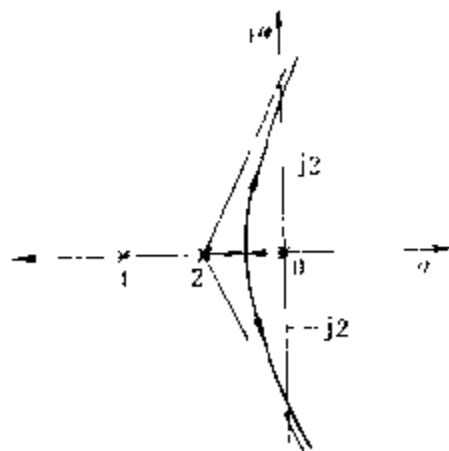


图2 根轨迹图

又由 $-5\omega^2 + K = 0$ 得 $K = 48$, 这是交点开环增益。所作根轨迹图示于图 2。

(钱源平)

gongcheng gongzuo/zhan

工程工作站 (engineering workstation)

具有相当强的计算能力和图形处理能力, 并能联网使用的计算机系统。它将图形显示和处理技术, 特别是三维图形技术以及实时快速图形加速器技术与高速计算功能集于一体, 不仅广泛应用于各行各业的计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助工程 (CAE) 与仿真、计算机辅助软件工程、人工智能和专家系统、科学计算可视化和虚拟现实技术, 而且还扩展到商业领域和管理信息系统领域, 甚至波及文化娱乐领域, 象商业广告、动画片的制作等。它将是 20 世纪 90 年代计算机工业的一种主流产品。

工程工作站是 80 年代初出现的新机种, 传统上采用“5 M”来描述定义工程工作站, 即: ①具有一兆像素 (Megapixel) 以上的图形显示和处理功能; ②具有一兆字节 (Megabyte) 以上的主存储器; ③运行多进程操作系统 (Multiprocessing O. S.); ④具有每秒一兆指令 (MIPS) 以上的运算速度; ⑤具有传输速率为一兆位 (Megabit) 以上的局域网能力。然而, 近年来超大规模集成电路和计算机技术的飞速发展, 尤其是精简指令集计算机 (RISC) 性能的成倍上升, 5M 的指标已经打破, 运算速度有一到二个数量级的提高, 达每秒几十到几百万指令。最小的内存亦达 8 兆字节。随着技术的发展, 今后会有进一步的提高。

早期的工作站都采用复杂指令集 (CISC) 处理器, 随着 RISC 技术的发展, CISC 逐渐让位给 RISC。现今, 采用 RISC 处理器已成为工作站最明显的特点之一。工作站的体系结构朝着并行处理的方向发展, 包括采用多个处理器实现并行处理和在一个处理器内实现指令级并行处理两个方面。

工作站区别于普通计算机的最大特点是它具有强大的图形功能, 采用专用的图形硬件来完成图形处理, 在高档的工作站中, 甚至采用多处理器结构的图形专用硬件来完成图形处理任务。

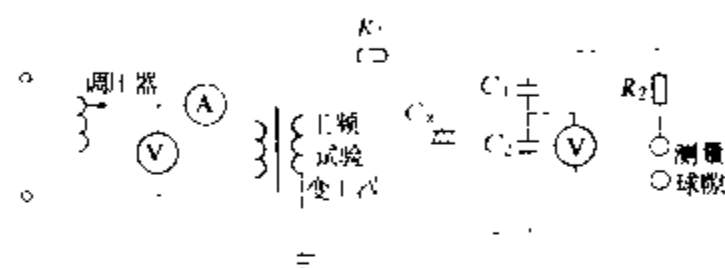
工作在 90 年代将随着普及逐步向标准化方向发展, 内容包括操作系统、高级语言、可连接性、图形和硬件等五个方面。目前, 几乎所有的工作站都采用 UNIX 操作系统, 提供标准的高级语言, 采用 IEEE802 标准局域网, 甚至光纤分布式数据接口 (FDDI) 两以及提供小型计算机系统接口 (SCSI) 标准外部设备等。图形用户接口等其他方面亦将进一步标准化。

(石教英)

gongpin shiyan bianyaqi

工频试验变压器 (power frequency testing transformer)

产生工频交流高电压的电源装置。常用以进行各种工频高电压试验,也可作为直流高压发生装置、冲击电压发生装置、冲击电流发生装置的交流高压电源以及串联谐振装置的励磁电源。使用时需配上调压器、保护电阻、测量系统及低压侧控制系统。原理接线如图所示,保护电阻 R_1 可阻尼因试品闪络或击穿引起的过电压,以保护试验变压器,阻值为数千至数万欧姆。



工频试验装置原理图

R_1 、 R_2 —保护电阻; C_x —试品;

C_1 、 C_2 —电容分压器

基本技术参数为额定电压 U , 额定电流 I 或容量 P 。中国国家标准 GB311.3-83《高电压试验技术第二部分·试验程序》规定: 试验变压器输出电压的频率为 45~55 Hz, 波形应接近正弦, 两个半波应完全一样, 且峰值与有效值之比等于 $\sqrt{2} \pm 0.07$ 。和电力变压器相比, 其特点是额定电流 I 小 (一般 I 为 0.1~4 A) 和持续工作时间短。进行工频高电压试验时, 试品相当于电容负载 C_x 。由于 C_x 的电容效应, 会使实际输出电压比低压侧电压表读数乘以变比所得值要大, 故应在 C_x 上并接测量装置 (例如电容分压器) 方能准确测得 C_x 上的电压值。由 C_x 值可选择试验变压器的容量 P , 即 $P = U^2 \omega C_x \times 10^{-9} (P, \text{kVA}; C_x, \text{pF}; U, \text{kV})$ 。

目前单台工频试验变压器的额定电压一般小于或等于 750 kV。为得到更高电压, 可选用由 2~3 台试验变压器串接而成的串级试验变压器。其优点是制造、运输、安装方便, 使用上灵活, 可数台并联使用或改成三相式接线。缺点是总短路电抗大, 整个装置的容量利用率低。

常用的调压器有自耦调压器和移圈式调压器。前者的优点是漏抗小, 变压器输出波形好。缺点是分级式调压, 容量有限。后者的优点是调压均匀, 容量大。大型试验变压器多选用它作调压设备。缺点是漏抗大, 致使变压器输出波形畸变, 必要时需加滤波装置以改善波形。电动发电机组是最理想的调压设备, 但价贵而运行复杂, 多在对试验要求较高的试验室内使用。

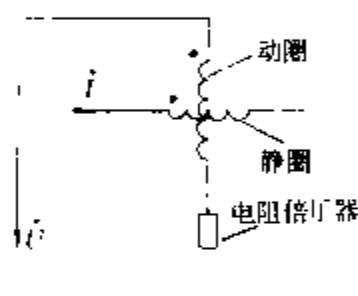
(王昌长)

gonglupiao

功率表 (wattmeter)

测量直流、交流功率量值的电表。电力系统中常用的是电动系功率表。令被测电流通入电动系测量机构 (见机械式指示电表测量机构) 的静圈, 被测电压经电阻倍压器变换成与电压成正比的小电流通入动圈 (见图)。静圈激励的磁场与动圈中的电流相互作用产生转矩, 使动圈和固定于其上的指针一起偏转。对于直流, 偏转角正比于被测电流和电压的乘积; 对于交流, 偏转角正比于被测电流、电压的有效值与功率因数的乘积, 即正比于被测的直流或交流功率。

图中静圈与动圈标有·号的接线端称做极性端。其作用有二: ①当此两端接在同一极电源线上时, 静圈与动圈间的电位差很小, 工作安全; ②在这种接线方式下, 如指针正向偏转, 表示电能由标有极性端的一方流入。



功率表接线图

为提高准确度和扩大频率使用范围, 对电动系功率表采取了以下措施: 在部分电阻倍压器上并接电容器或在动圈上并接电感器, 以补偿动圈电感引起的角误差和频率误差; 为减小外磁场影响, 在测量机构上如磁屏蔽或用无定位测量机构; 静圈固定支架尽可能不用金属, 以避免产生涡流; 指示器不用指针而用光标, 以减小视差。

电动系功率表的量程由数十毫瓦至数千瓦, 附加测量互感器可扩展至数百兆瓦。它能测量直流功率和交流功率, 交流功率的频率范围由数十赫至数千赫。在测量数百赫以下的功率时, 受谐波影响小。

电动系功率表的准确级分别为: 2.5、1.5、1.0、0.5、0.2、0.1, 最高为 0.05 级。较低准确级别的功率表用于配电盘上; 较高准确级别的用于科学研究或作为标准表使用。

在选用功率表时, 应分别说明其电压与电流量程。一般功率表度盘上是按电压量程、电流量程及功率因数为 1 三者相乘结果而刻度的; 对低功率因数功率表, 则按电压量程、电流量程以及功率因数为 0.1 或 0.2 而刻度。

功率表除电动系外, 还有铁磁电动系、静电系、热电式、霍耳效应式和各种电子式。电子式的又可分为脉冲调制式、变互导式、两个双斜积分式、对数式、四分之一平方式、采样数字式等。

为了测量三相功率, 可利用电动系机构制成多种三相功率表。在三相三线不对称系统中, 可用具有两组

测量机构的三相二元功率表。在三相四线不对称系统中,须用三相二元功率表。在三相完全对称系统中,可以用三相单元功率表,即只用一个测量机构,但按三相功率值标度。

见功率测量。

(郑英华)

gongli celiang

功率测量 (electric power measurement)

单位时间内电能量值的测量。功率的单位为瓦特(W)。按照被测对象的不同,功率的测量可分为直流功率、单相交流功率及三相交流功率等的测量。

直流功率的测量 直流电路的功率为 $P=UI$ 。其中 U 为被测电路两端电压; I 为流过该电路的电流。要实现功率测量,可采用间接法或直接法。

间接法是用直流电压表、电流表分别测出 U 、 I ,再将两者相乘得到 P ,此时要注意电压表、电流表的接法(见电阻测量)。若已知负载等值电阻 R ,则可按公式 $P=I^2R$ 或 $P=U^2/R$,由 R 值及测得的 I 或 U 值计算功率。

直接法是利用具有乘法功能的功率表直接测量功率,其接线如图1所示,图中 W 为功率表。如同间接法有两种接法一样,功率表的电压线圈、电流线圈在电路中也有两种不同的接法,分别适用于不同的负载等值电阻情况。

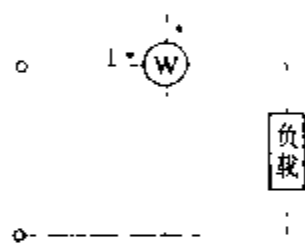


图1 用功率表直接测量功率

单相交流功率的测量 单相交流电路的功率 $P=UI\cos\varphi$,其中 U 和 I 分别为被测电路两端电压和流过该电路电流的有效值, φ 是上述电压、电流相量间的夹角。单相交流功率也可用间接法测量,在用交流电压表、电流表、功率因数表分别测得 U 、 I 、 $\cos\varphi$ 后,再将三者相乘而得到功率。但此法接线比较复杂,误差较大。一般都使用功率表直接测量功率,电表的接法与图1所示相同,但多同时增接电压表和电流表以监测电压、电流值。

三相交流功率的测量 三相交流电路可分为三相四线系统和三相三线系统。



图2 三相四线系统功率的测量

三相四线系统的功率测量 不管负载是否对称,可以用三个功率表来测量,其原理接线如图2所示,图中有·者为极性端。三个功率表测得的分别是A、B、C三相

的功率,将三者相加就得到了三相总功率。

三相三线系统的功率测量 不管负载是否对称,可以用两个功率表来测量,其原理接线如图3所示。两个功率表的电流线圈可分别接入A、B、C相三条线的任两条线中,但要注意电压线圈及极性端的相应接法。两个功率表读数之和就是三相总功率。

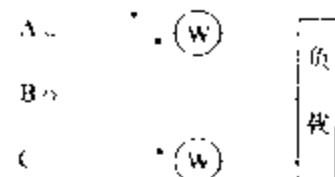


图3 三相三线系统功率的测量

根据上述测量原理也可制成三相功率表。方法是将三个或两个功率测量机构装于同一电表内,且动圈固定在同一转轴上,这样就形成了四线制或三线制的三相功率表,由电表指示可直接读出三相总功率。

(谈克雄)

gongli fangda dianlu

功率放大电路 (power amplifier)

以增强输出信号功率为主要目的的放大电路,简称功放。它常作为多级放大电路的末级,向负载提供所需功率。其负载可以是扬声器、电动机、继电器、电热器、发送天线等。功率放大电路的主要性能指标是最大输出功率、效率和非线性失真系数。效率是指放大电路的有用输出信号功率与所消耗的直流电源功率之比。

目前功放所用的有源器件主要是晶体管(双极型晶体管或场效应晶体管)和集成功率放大器,少数场合下(如高频或微波大功率发射机末级)也用电子管。晶体管的最大输出功率在较低频段已能达到数十千瓦,电子管可达兆瓦级,集成功率放大器的最大输出功率已达数百瓦。

功放电路有多种,常用的有单管功放电路、单电源互补对称功放电路、双电源互补对称功放电路等,它们的效率和电路复杂程度各不相同。

单管功放电路 电路如图1所示。它与电压放大电路在形式上相似,主要的差别是静态工作点须适应输出最大不失真功率的要求,一般选择静态工作点在交流负载线中点。为获得较大功率输出,在它的输出端常用变压器耦合,使负载阻抗达到最佳值。它工作于甲类状态。在不使正弦波信号输出有明显失真的条件下,这种功放电路的最大理论效率为50%。它一般只用于功率不大的场合,例如晶体管收音机的小功率输出级。

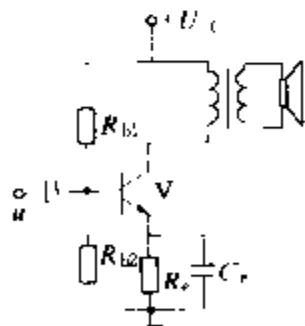


图1 单管功放电路

信号输出有明显失真的条件下,这种功放电路的最大理论效率为50%。它一般只用于功率不大的场合,例如晶体管收音机的小功率输出级。

单电源和双电源互补对称功放电路 单电源互补对称功放电路如图 2 所示。双电源互补对称功放电路

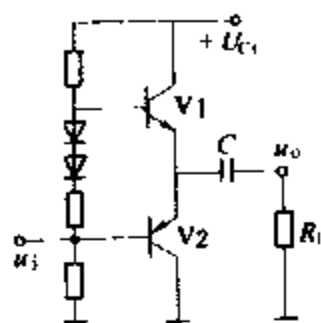


图 2 单电源互补对称功放电路

如图 3 所示。在这两个图中,两个晶体管都要用 PNP 型和 NPN 型双极型晶体管,或 N 型沟道和 P 型沟道场效应晶体管组成,且要求两个管子特性相同,以构成互补对称特性。两个电路都可减小静态工作点电流,使之趋近于零(称之为甲乙类放大电路),而不致失真过大,故其效率较高,乙类功放电路的最大效率为 78%,它的实际效率约为 60%,输出功率也较大。在图 2 电路中,其输出端不用变压器耦合,而用电容耦合,故常称之为无输出变压器 (OTL) 电路。耦合电容 \$C\$ 用来隔直流,两端电

压 \$U_C\$ 近于 \$\frac{1}{2}U_{CC}\$,其极性右

正左负,它为晶体管 \$V_2\$ 提

供了负电源。若采用极性一正一负的两组电源(如图 3),还可以免去图 2 中的耦合电容,图 3 电路就称为无输出电容 (OCL) 电路。若采用使两组单电源互补对称功放电路并接的桥式 (BTL) 结构(见图 4),则输出直流电位也可抵消,并且减少一组电源。

高频功放电路 专门用来放大窄频带射频信号的

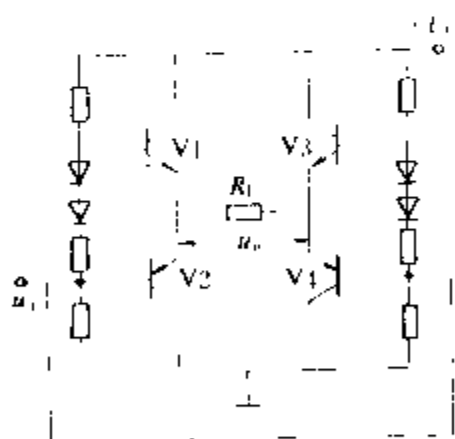


图 4 桥式互补对称功放电路

功率放大电路。它允许电流波形有很大失真,然后利用调谐电路把谐波抑制掉。为了提高效率,可把电路的静态工作点偏置到截止点以下(称为丙类放大电路)。

在大功率放大电路中,由于热损耗大,在结构上发热严重的

(王志宏)

gonglu jingtiguan

功率晶体管 (power transistor) 以放大功率为主的晶体管。通常指集电极耗散功率在 1 W 以上的晶体管以及高增益的达林顿型管。它广泛用于产生、控制、变换和放大有一定信号功率的电路。

功率晶体管与一般晶体管一样,也有锗和硅两种材料的制品,有 NPN 及 PNP 两种类型。由于用途和制造工艺的不同,功率晶体管可分为通用低频功率放大管、高频功率管和高反压开关管三大类。

通用低频功率放大管 是使用最广的功率晶体管。这类功率放大管一般 \$\beta\$ 值较高 (30~500),饱和压降小 (1~2 V),集电极允许电流大 (1~200 A),耗散功率大 (1~500 W),伏安特性曲线较均匀,耐压在 20~300 V 之间。通常用作低频功率放大器、稳压电源、低速开关和低电压电源的直流变换器等。

高频功率管 这类功率放大管的主要特性是在高频情况下能输出大功率,并具有一定功率增益。高频功率管的生产工艺难度较低频功率管大,一般集电极允许电流较低频管小 (0.5~50 A),饱和压降较大 (1~5 V),\$\beta\$ 值较低 (10~20),伏安特性曲线均匀性也较差。但多数高频功率放大器中功率管都工作在丙类状态,对特性曲线的均匀性没有严格要求。高频功率管多用于电台、雷达、电视差转机、通信、遥测等设备的功放、倍频和振荡等电路中。

高反压开关管 这类功率管发展很快,使用面越来越广,它的特点是耐压高 (\$U_{(BR)CEO} \approx 400 \sim 2000\$ V),集电极允许电流大 (1~200 A),饱和压降小 (\$U_{CE(sat)} \approx 1 \sim 2\$ V),但其 \$\beta\$ 值不高 (5~20),伏安特性曲线均匀性较差,开关速度不太高。高反压开关管多用于大功率逆变器、电机调速系统、无工频变压器开关电源、荧光灯电子镇流器、电视机行扫描等电路中。

功率晶体管使用时应特别注意以下三个方面的问题:①工作的峰值电流不能超过管子的集电极最大允许电流,否则 PN 结局部区域电流密度过大会使管子损坏;②集电极瞬时电压不能超过 \$U_{(BR)CEX}\$,否则会导致击穿;③应认真校核管子的耗散功率,并须对管内热阻和散热器热阻进行仔细计算,务必保证在最坏条件下管内的 PN 结结温不超过厂家规定值。

(汤为杰)

gonglu yinshu

功率因数 (power factor) 有功功率和视在功率之比。功率因数又称力率,常采用的符号是 \$\cos \varphi\$、\$\lambda\$ 或 \$pf\$ (由英文 power factor 首字母构成的缩略语)。令 \$P\$ 代表有功功率,\$Q\$ 代表无功功率,\$S\$ 代表视在功率,则功率因数 \$\cos \varphi\$ 为

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$$

在正弦交流电路中, φ 为二端网络电压和电流之间的相角差, 通常称 φ 为功率因数角。相角差越大, 功率因数越低。当电压和电流同相时功率因数等于 1; 当电压和电流的相位差等于 90° 时功率因数等于零。

在三相负荷中, 从技术上看, 主要由于电流和电压之间有相位差、波形偏离正弦波发生畸变和三相不对称等因素导致功率因数降低。实际上功率因数也是随着电力负荷的波动而变化的。常用下式来代表每日或每月的平均功率因数

$$\cos\varphi = \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\sqrt{(\text{kW} \cdot \text{h})^2 + (\text{kvar} \cdot \text{h})^2}}$$

式中 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 是每日 (或每月) 由有功电度表测出的千瓦小时数; $\text{kvar} \cdot \text{h}$ 是每日 (或每月) 由无功电度表测出的千乏小时数。

在一般的情况下功率因数小于 1。只有在有功功率等于视在功率时, 功率因数才等于 1。为了充分利用和发挥电工设备的能力, 在运行时尽可能使有功功率接近视在功率, 或使功率因数接近 1。供电部门通常要求高压供电的用户的功率因数不得低于 0.9。为使电费计算公平合理, 对功率因数低的用户实行罚款, 功率因数越低罚款越多, 促使功率因数低的用户进行无功补偿以提高功率因数。

(孙树勤)

gonglu yinshubiao

功率因数表 (power factor meter) 测量交流电路中有功功率与视在功率的比值, 或电压、电流间相位角余弦的电表。常见的有电动系、铁磁电动系、电磁系和变换器式功率因数表。

电动系单相功率因数表的接线如图 (a) 所示, 负载电流 I 通过静圈, 两个互成直角交叉的动圈 1 和 2 分别串联电阻 R 及电感 L (或电容 C) 后并联到负载电压 \dot{U} 上。动圈 1 和静圈组合, 产生一个与有功功率和偏转角 α 的正弦的乘积或正比的力矩 M_1 , 即 $M_1 = KUI \cos\varphi \sin\alpha$, 式中 φ 为功率因数角; K 为常数。动圈 2 与静圈组合, 产生一个与无功功率和偏转角 α 的余弦的乘积成正比的力矩, 即 $M_2 = KUI \sin\varphi \cos\alpha$ 。此测量机构又称电动系流比计。当负载为纯电阻时, $\varphi = 0^\circ$, 这时 $M_1 = KUI \sin\alpha$ 和 $M_2 = 0$ 。于是电表可动部分在 M_1 的作用下, 使指针偏转到 $\alpha = \varphi = 0^\circ$ 即 $\cos\varphi = 1$ 的标度处。

当负载为纯电感时, $\varphi = 90^\circ$, $M_1 = 0$ 和 $M_2 = KUI \cos\varphi$ 。电表可动部分在 M_2 的作用下, 顺时针偏转到指针停留在 $\alpha = \varphi = 90^\circ$ 即 $\cos\varphi = 0$ 的标度处。

同理, 当负载为纯电容时, 由于静圈中的电流及力矩 M_2 改变了方向, 电表可动部分在 M_2 的作用下, 沿逆时针方向偏转使指针停留在 $\alpha = \varphi = 90^\circ$, 即 $\cos\varphi = 0$ 的标度处。

功率因数表的标度尺, 可以按照 φ 角的大小或功率因数 $\cos\varphi$ 来分度, 其“零点” (即 $\cos\varphi = 1$ 的点) 选择在标尺的中间, 指针向右偏转表示负载为感性, 向左偏转表示负载为容性。

上述单相功率因数表, 还可用来测量中点可引出的对称三相电路的功率因数, 这时电表的电压回路应接到相电压上。当对称三相电路的中点不可及时, 可采用三相功率因

数表进行测量, 如图 (b) 所示。三相功率因数表在连接线路上要特别注意, 除了要按说明书规定接线之外, 还应当注意相序关系, 不能接错。

(王 健)

gonglu yinshu celiang

功率因数测量 (power factor measurement)

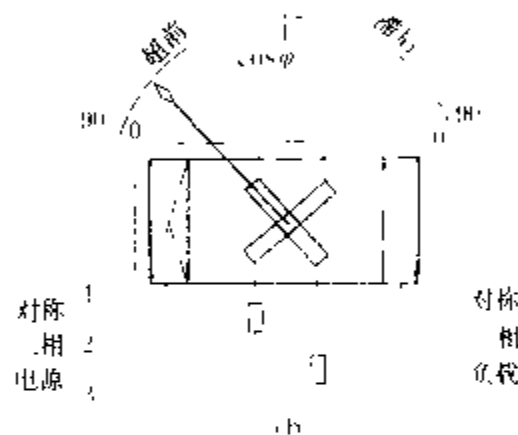
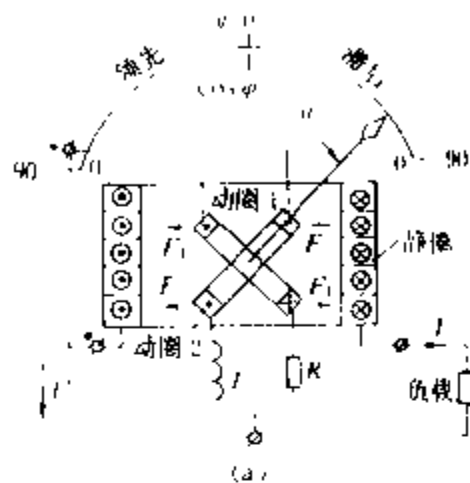
交流电路中, 相电压与相电流间相角差 φ 的余弦值 $\cos\varphi$ 的测量。

单相电路的功率因数测量 有三表法, 功率因数表法和相角换算法等。

三表法 单相电路中, 功率 $P = UI \cos\varphi$, 即功率 P 等于相电压 U 、相电流 I 及两者间相角差 φ 余弦值的乘积。可以用电压表、电流表、功率表分别量出 U 、 I 、 P , 再按下式计算功率因数: $\cos\varphi = P / (UI)$ 。如不能同时读出三表示值, 则误差较大。

功率因数表法 可以直接测量出交流电路的功率因数。

相角换算法 φ 与 $\cos\varphi$ 是函数关系, 可以根据相



功率因数表

(a) 单相功率因数表;

(b) 三相功率因数表

角测量中所述方法先测出 φ 值, 然后再换算出 $\cos\varphi$ 值。

三相电路的功率因数测量 依照不同对象采用不同的测量方法。

对于三相电路的某一相, 功率因数的测量方法同单相电路。

对于对称或不对称三相电路, 功率因数的定义为 $\cos\varphi = P/S$, $P = P_A + P_B + P_C$ 为三相总功率, S 为总视在功率, $S = U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C$ 。对于对称三相电路, $\cos\varphi = P/(3UI)$ 或 $\cos\varphi = \frac{P/3}{U/I}$, $P/3$ 、 U 、 I 分别为每相的功率、电压和电流。其功率因数的测量方法同单相电路。对于不对称三相电路, 可用电压表、电流表分别测出各相的电压 U_A 、 U_B 、 U_C 及相电流 I_A 、 I_B 、 I_C , 即可求出 S 。然后用功率表测得 P , 即可由公式 $\cos\varphi = P/S$ 求出 $\cos\varphi$ 。

对于负载和功率因数随时间不断变化的交流电路, 定义一段时间内的平均功率因数数值为: $1/\sqrt{1 + \left(\frac{\text{无功电能值}}{\text{有功电能值}}\right)^2}$ 。可使用电能表和无功电能表读出这段时间内消耗的电能和无功能量, 再按上式算得功率因数。

(谈克雄)

gongji fangda dianlu

共基放大电路 (common - base amplifier)

基极是输入回路和输出回路间的公共支路的放大电路。图 1 所示是一个最简单的晶体管共基放大电路。其中晶体管为 NPN 型; R_{b1} 和 R_{b2} 称偏置电阻, 用来给晶体管提供合适的偏置电流; R_e 称集电极电阻, 用来提取放大的信号电压; C_1 和 C_2 称耦合电容, 对交流信号起耦合作用, 同时也有隔直流的作用。

共基放大电路中输入信号加在晶体管的射极和基极之间, 输出信号从晶体管的集电极和基极间取出, 基极为输入回路和输出回路所共用。

共基放大电路的电流放大倍数略小于 1, 而电压增益、功率增益可以很大, 其输入电阻比共射放大电路和共集放大电路都小, 而输出电阻又比它们都大。由于其输出电阻很大, 常用作恒流源电路; 由于其输入电阻小, 输入电容也小, 放常用于高频放大电路, 例如图 2 所示的共射-共基组合放大电路。共基极常作

为高频、视频共射极的后级电路, 由于后级的共基放大电路的输入电阻很小, 它接在共射放大电路的集电极上, 这样使共射放大电路的交流负载电阻变小, 从

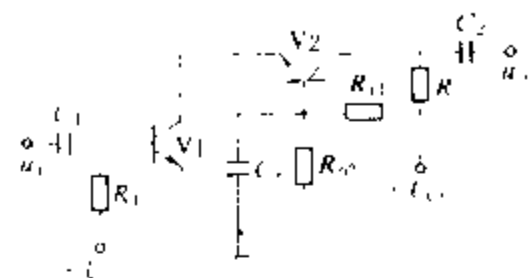


图 2 共射-共基组合放大电路

而使晶体管 V1 的集电极电容 C_{bc} 折算到输入回路的等效电容 (即密勒电容) 比较小, 使第一级的频带加宽。而对第二级的共基放大电路来说, 因基极是共同端, 故

C_{bc} 的作用仅作为输出电容, 而不影响输入电容, 比共射放大电路要小得多, 也就是说共射-共基电路总的频带比共射-共射电路要宽。

(王志宏)

gongji fangda dianlu

共集放大电路 (common - collector amplifier)

集电极是输入回路和输出回路间的公共支路的放大电路。图 1 是一个最简单的晶体管共集放大电路。其中晶体管为 NPN 型; R_{b1} 和 R_{b2} 称偏置电阻, 用来给晶体管提供合适的偏置电流; R_e 称射极电阻, 用来提取信号电压; C_1 和 C_2 称耦合电容, 对交流信号起耦合作用, 同时也有隔直流的作用。

共集放大电路中输入信号加在晶体管的基极和集电极之间, 输出信号从晶体管的射极和集电极间取出, 集电极为输入回路和输出回路所共有。

共集放大电路的电压放大倍数略小于 1, 也就是输出电压和输入电压大

小很接近, 且输出电压和输入电压的相位相同 (忽略该电路中的电容效应), 故该放大电路常称为射极跟随器

或射极输出器。该电路虽然没有放大电压, 但其电流放大倍数、功率放大倍数是远大于 1 的。其特点是: 输入电阻很大, 比共射放大电路大; 输入电容很小, 远比共射放大电路小, 在多级放大电路中常作输入级用; 输出电阻很小, 远比共射

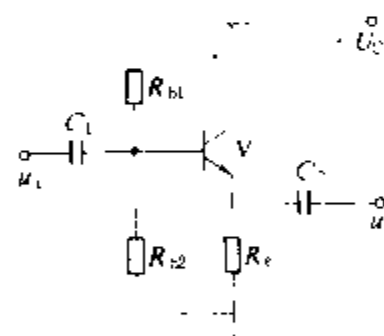


图 1 共集放大电路

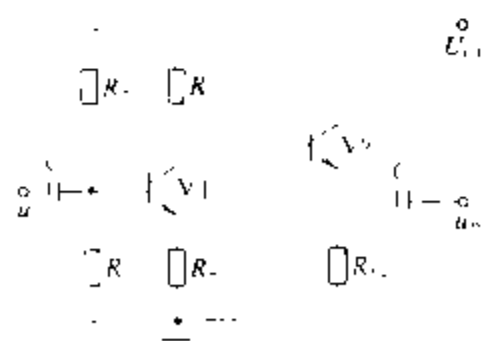


图 2 共射-共集组合放大电路

放大电路小,故在多级放大电路中又常作输出级用。由于其输入阻抗大,输出阻抗小,具有阻抗变换的作用,故在多级放大电路中常作为隔离级或缓冲级,常用的组合电路是图2所示的共射-共集组合放大电路。由于共集放大电路输入电阻大,输入电容小,接在共射放大电路后面可以减轻后级的输入电容对前级共射放大电路的影响,以改善高频特性。此外,共集放大电路的输出阻抗小,可以承受较重的负载,而且由于输出电阻很小,使得输出端的负载电容对整个电路高频特性的影响也较小。

(王志宏)

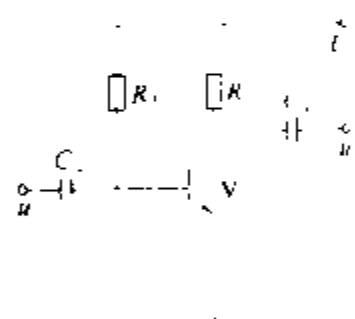
gongshe fangda dianlu

共射放大电路 (common-emitter amplifier)

发射极是输入回路和输出回路间的公共支路的放大电路。图示是一个最简单的晶体管共射放大电路。其中晶体管为NPN型; R_b 称偏置电阻,用来给晶体管提供合适的偏置电流; R_c 称集电极电阻,用来提取放大的信号电压; C_1 和 C_2 称为耦合电容,对交流信号起耦合作用,同时也有隔直流的作用。

图中,输入信号加在晶体管的基极和发射极之间,输出信号从晶体管的集电极和发射极间取出,发射极为输入回路和输出回路所共用。

共射放大电路有较大的电压增益和电流增益,若忽略放大电路中的电容效应,其输出电压和输入电压的相位是反相的。共射放大电路的输入电容较大,约为几百皮法。其输入电阻约为几百欧~几千欧,输出电阻约为几十千欧~几百千欧。



共射放大电路

(王志宏)

guji lilun

估计理论 (estimation theory) 阐明估计方法及估计属性的理论。动态系统的估计问题分为两类:参数估计和状态估计。它是利用含有随机误差的动态系统的观测数据去估计某些未知的参数或状态变量。

参数估计 有最小二乘估计、线性最小方差估计、最小方差估计、递推最小二乘估计、极大似然估计、贝叶斯估计等方法。由于前面四种估计方法有专门条目,下面仅介绍后面两种方法。

极大似然估计 设随机变量 Y 具有密度函数

$$f(y; \theta) \triangleq f(y; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

式中 f 的形式已知, $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k]$ 为未知参数向量。设 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 是来自密度 $f(y; \theta)$ 的样本,则 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 的联合密度函数为

$$L(y; \theta) = \prod_{i=1}^n f(y_i; \theta)$$

对于任一样本值 $y^* = [y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*]$, $L(y^*; \theta) = \prod_{i=1}^n f(y_i^*; \theta)$ 只是 θ 的函数,称为似然函数

若有 $\hat{\theta} = [\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_k]$ 使得

$$L(y^*, \hat{\theta}) = \max_{\theta \in \Omega} L(y^*, \theta)$$

式中 Ω 是 θ 的可能取值范围,则称

$$\hat{\theta} = \hat{\theta}(y^*) = [\hat{\theta}_1(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*), \hat{\theta}_2(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*), \dots, \hat{\theta}_k(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*)]$$

为 $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k]$ 的极大似然估计。

贝叶斯估计 设随机变量 Y 具有密度函数 $f(y|\theta)$,这里 f 的形式已知, θ 是未知参数。在极大似然估计中认为 θ 是一个不变的未知参数,在贝叶斯估计中则认为 θ 是随机变量且具有已知的先验密度 $\pi(\theta)$ 。一旦获得了 Y 的样本观测值 $y^* = [y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*]$,则运用统计学中的贝叶斯法则可得 θ 的后验密度

$$h(\theta|y^*) = \frac{L(y^*; \theta)\pi(\theta)}{\int_{\Omega} L(y^*; \theta)\pi(\theta) d\theta}$$

式中 Ω 为 θ 的可能取值范围。

若以 a 作为参数 θ 的估计,引入损失函数,记为 $L(\theta, a)$,它是 θ 和 a 的实值非负函数。作均值

$$E\{L(\theta, a)|y^*\} = \int_{\Omega} L(\theta, a)h(\theta|y^*)d\theta$$

若有 $\hat{\theta}$ 使得对于任一样本值 y^*

$$E\{L(\theta, \hat{\theta})|y^*\} = \min_{a \in \Omega} E\{L(\theta, a)|y^*\}$$

则称 $\hat{\theta} = \hat{\theta}(y^*) = \hat{\theta}(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*)$ 为 θ 的贝叶斯估计。

通常取平方损失函数 $L(\theta, a) = (\theta - a)^2$ 作为损失函数,这时 θ 的贝叶斯估计就是 θ 的后验均值

$$\hat{\theta}(y^*) = E(\theta|y^*) = \int_{\Omega} \theta h(\theta|y^*)d\theta$$

状态估计 处理状态估计的方法有维纳滤波和卡尔曼滤波,前者使用困难,后者见卡尔曼滤波。

(童建中 于 勃)

guti dianjiezhi de diandao

固体电介质的电导 (electrical conduction in solid dielectrics) 固体电介质所具有的在电场作用下通过极小的漏电流的性能。一般来说,固体电导

的大小及导电本质与固体材料本身的组成、结构、含杂以及外界物理条件(温度、压力、电场强度等)密切相关。固体的电导率小于 10^{-8} S/m 时,可以认为材料是处于电介质状态,高于 10^{-8} S/m ,则处于半导体或导体、超导体状态。

固体电介质是电气工程中应用最广、种类最多的绝缘材料。按其导电载流子的种类来区分,固体电介质的电导可分为离子电导和电子电导两种。由离子键构成的电介质及含有较多金属离子杂质的电介质如碱卤晶体、陶瓷、玻璃等多以离子电导为主。高场强下的一般固体电介质则往往以电子电导为主。

碱卤晶体(如氯化钠,溴化钾等)类离子晶体的导电载流子是构成离子晶

体本身的离子,故称为本征离子电导,但参与导电的仅是在热振动作用下,能离开晶体点阵进入点阵间的填隙离子和离子空穴(点阵空穴)

图1 弗兰凯尔缺陷 (弗兰凯尔缺陷,图1)。

如离子半径较大难以在点阵间稳定地运动,则离开晶格点阵的离子将迁移到晶体的表面,构成新的晶格。此时,仅有离子空穴参

与导电(肖特基缺陷,图2)。由热力学统计力学可以求得参与导电的载流子浓度(n)均与温度成指数关系。面活化离子和空穴的迁移是以热跃迁

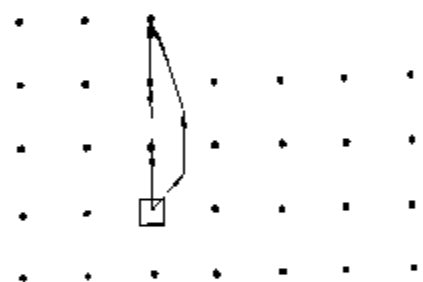


图2 肖特基缺陷

方式进行的,即离子处于势阱中作热振动(振动频率为 ν),离子的热振动能高于势阱势垒则能发生离子热跃迁,在外加电场作用下势阱发生有方向性的变化,则可导致离子沿电场方向有较多的迁移。其平均迁移率

$$\mu = \frac{q\delta^2\nu}{6KT}e^{-\frac{u_0}{KT}}$$

式中 u_0 为离子跃迁时所需克服的势垒; δ 为离子跃迁的距离; K 为玻耳兹曼常数; T 为绝对温度。根据 $\gamma = qn\mu$ 关系式,可以得出 γ 与温度的关系式,它可以写为 $\gamma = Ae^{-\frac{u}{KT}}$ 。式中 u 为固体电介质电导的活化能。碱卤晶体的活化能 u 处于1~2 eV范围内。

在玻璃、陶瓷等固体电介质中虽然构成固体主体的共价键,但仍有少量 K^+ 、 Na^+ 等金属离子与主结构成弱束缚联系,这些弱束缚离子是此类电介质的导电离子的来源,但活化能多低于1 eV。

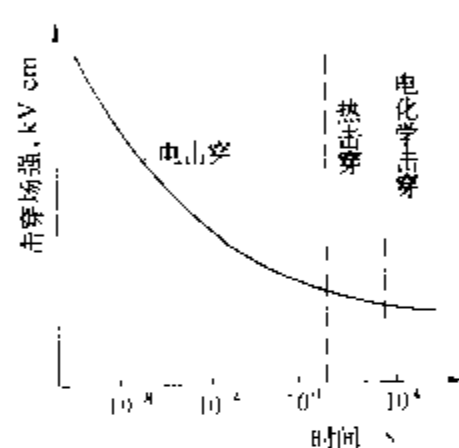
固体高分子聚合物如聚乙烯、聚丙烯、硅橡胶等在纯净的情况下有很低的电导,可以作为高压电气设备和电子元器件的绝缘材料。它们在常温下导电具有电子电导性质,而在高温下则具有杂质离子电导性质,这些材料本身电导很低,常常是材料表面漏电流所引起的表面电导起着重要作用。在高场强下电极所注入的电子引起的电子电导及碰撞电离电流将占主导地位。

(徐传曦)

guli dianjie zhi jichuan

固体电介质击穿 (breakdown in solid dielectrics) 在电场作用下,固体电介质失去绝缘能力,由绝缘状态突变为良导电状态的过程。

固体电介质的击穿与很多因素有关,温度、湿度、电场分布、散热条件、升电压速度、电压施加时间都会影响固体电介质的击穿电压。一般说来,因电压作用时间的不同,固体电介质的击穿有三种不同形式:电击穿、热击穿和电化学击穿(见图)。



固体电介质击穿场强与承受电压时间的关系

对于固体电介质的电击穿过程,还有三种不同的理论解释:本征击穿、电子崩击穿、机械应力击穿理论。后两种理论仅在特定条件下有一定实际意义。

(谈克雄)

guanlian juzhen

关联矩阵 (incidence matrix) 见网络图论。

guanxi shujuk

关系数据库 (relational database) 采用关系原理和方法,以关系数据模型为基础建立的数据库。一般是指由关系数据库管理系统产生的关系数据库系统。关系数据模型是由若干个关系框架组成的集合。每个关系框架相当于一个记录类型,记录类型的值称为关系框架的元组(tuple)。关系框架的多个元组组成的二维表称为关系,因此也相当于同质文件。

用关系数据模型表达实体模型时,记录类型及其联系均用关系描述。例如可把学生号、课程号作为数据项放入到关系“学习”中,使记录类型“学生”和

“课程”发生关系，表示了它们之间的联系。关系有严格的数学上的定义：给定值域 D_1, D_2, \dots, D_n ，其笛卡尔乘积： $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ 集合的子集称为一个关系。当然子集是根据某关系要表达的实际意义来选取的。在关系数据库中，对数据库的定义是：描述各个关系名，每个关系框架由哪些数据项（称为属性）组成，以及关系的关键字等。对关系数据库的操作基于关系代数的运算，如用关系（看作集合）并、交、差、乘积、选择、投影、连接等运算表达数据库的增、删、改操作。

在关系数据库系统中,研究关系模型中数据相互依赖和规范化关系的理论称为关系数据理论。由于关系模型可以等价地转换为其他数据模型,因此关系数据理论的研究具有指导数据库逻辑设计的普遍意义。数据的相互依赖称为相关性,如说数据 A 可以决定数据 B,则数据 B 依赖于数据 A。按照关系中各属性相互依赖的不同程度,概念上把关系分成不同级别的规范,满足某种程度的关系称为某一范式(normal form,简称 NF),如第一范式(1NF),第二范式(2NF),第三范式(3NF),BC 范式(Boyce-Codd NF)和第四范式(4NF)等等。把低一级范式关系,不损失信息量地转换为高一级范式的过程称为规范化过程。

(毛根生)

guanli xinxi xitong

管理信息系统 (management information system, MIS) 由人、计算机和应用环境组成

的、面向事务处理和结构化决策问题的系统。管理信息系统最早提出于 20 世纪 50 年代后期, 60 年代至 70 年代结合发展着的数据库技术, 提出了各种高效率处理日常事务的方法、技术和手段。它是一门综合了经济管理理论、运筹学、统计学与计算机科学的边缘科学。它在企事业管理、统计分析、数据处理、经济信息网等方面得到了广泛的应用。

基本功能 管理信息系统有如下功能：①实现原始数据的采集、整理传输、存储和输入输出，提供查询，给出各种格式化信息，实现数据共事以降低信息冗余度；②利用数学方法对数据进行分析、统计和预测；③给各管理层提供相应数据和报表，以提高工作质量和效率；④解决结构化或可程序化决策问题。

结构 管理信息系统的逻辑框图如图1所示。按其功能可分为职能结构和综合结构两种。

(1) 职能结构。系统或子系统只实现一种功能或一种职能，如销售管理系统等。

(2) 综合结构。可实现多种功能的综合系统。其综合方法又分为横向综合和纵向综合两种。横向综合为

同一层次上几个职能部门的数据综合,如销售、物资、财务各子系统的综合;纵向综合属于不同层次的数据综合,如地区、公司和下属部门的数据综合。更复杂的是既有横向综合又有纵向综合的系统,它可使信息冗余度降低到最小,但系统逻辑关系复杂,物理存储要求高。

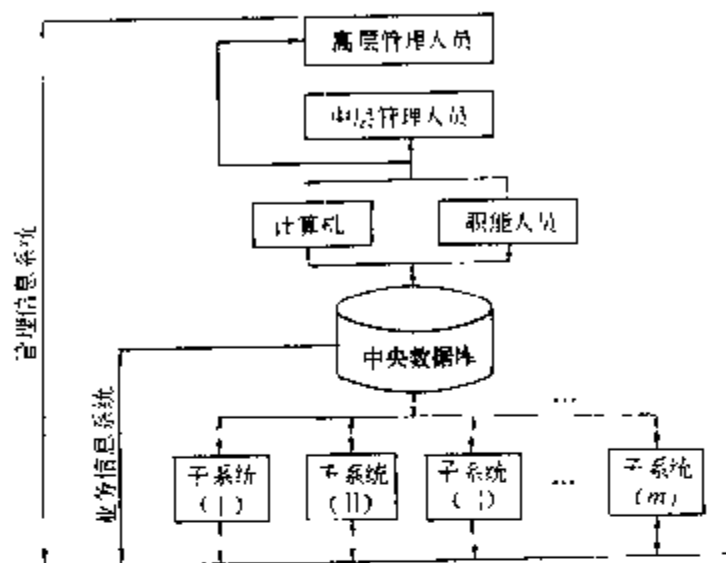


图 1 管理信息系统逻辑框图

管理信息系统开发 根据管理目标、内容、规模和性质、从系统观点出发,运用系统工程方法,设计和实现管理信息系统。从提出系统目标到实现运行的整个生存周期中(图2),开发步骤和内容包括:①系统分析:根据对原系统的调查研究和分析,提出新系

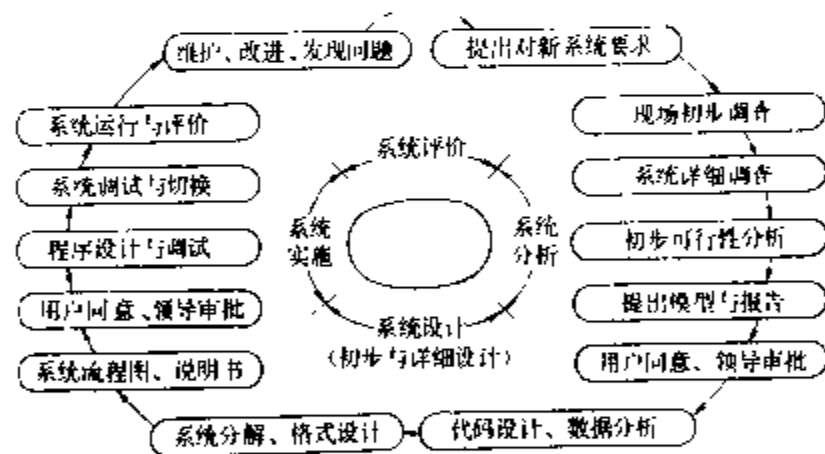


图 2 管理信息系统生存周期

系统的目标和可行性报告，形成新系统的逻辑模型。②系统设计：根据系统逻辑模型和规格说明书，进行概要设计和详细设计。包括计算机软硬件环境，模块设计、数据库设计、接口设计以及算法和数据结构设计，编写源代码的说明等。③系统实施：从编制程序到系统运行，实现设计的要求，包括程序设计、测试、项目管理、人员训练和新旧系统转换过程中的系统维护等。④系统评价：系统投入运行后，根据预期目标，需要对系统作出全面评价（见表），以便考核输入/输出的合理性和管理效率的提高程度，评价系统的主要经济效益指标（包括直接经济效益和间接经济效益）以

管理信息系统经济效益评价指标

反映 有用 效果 指标	输出信息的正确性	
	输出信息的精确度	
	处理的速度、时间、容量	
	减少的手工计算量和抄写量	
	可靠性、扩展性、保密性、通用性	
货币 指标	一 次 性 投 资	计算机设备费用
		机房建筑费
		附属备件费
		账单变更费
		建立基本数据文件费
		系统设计和程序开发费
	经 营 费 用	设备和备件折旧费
		设备的租金
		消耗品费用
		人工费用
	生 产 费 节 约 额	新系统运行后经营费节约额
		本部门以外其他部门节约额
		一次性投资节约额×投资效果系数
	机时成本	

及社会效益等。

(巢来春)

guangdian bandaoqi qijian

光电半导体器件 (photo semiconductor device)

利用半导体材料的光电效应制成的固态器件。光电半导体器件经过一个多世纪的发展,目前已广泛用于国防建设、工业自动控制与检测、宇宙空间技术和家用电器等国民经济各个领域。

分类 光电半导体器件可分为发光器件与光敏器件两大类。

(1) 发光器件:将电能转换成光能的器件,例如发光二极管(LED)。

(2) 光敏器件:将光能转换成电能的器件,例如半导体光电二极管和半导体光电三极管等。光敏器件按结构又可分为两类。①无结器件:为均质型,是依据半导体的光电导效应制成的器件,如光敏电阻。②结型器件:可分PN结型、PIN型和肖特基势垒型等,是依据光生伏特效应工作的器件,如光电二极管和多极管、光电池等。

光敏电阻 又称光导管。其工作原理是:无阻挡

层的半导体材料受光照射而产生空穴和电子,这些载流子有效地参与导电使材料的电阻率发生改变,光照越强电阻越小。常见的CdS和CdSe光敏电阻是应用在可见光谱范围内,而PbS、InSb和ZnS则分别对红外光和紫外光敏感。光敏电阻的符号如图1所示。因它无极性,故在交直流电路中均可使用。目前国际上的产品已系列化,额定功率从25mW到1W分15个等级,最大工作电压可由70V到460V,暗阻与亮阻之比从15倍到250000倍。光敏电阻可用于电视机亮度的自动调节、路灯的自动点亮和熄灭、以及照相机的电子快门等电路中。

图1

图1 光敏电阻符号

光电耦合器件

将发光器件和光敏器件组合而形成的一种光电耦合器件。用它可执行电—光—电信号的转换。应用最广的是发光二极管、光电三极管型光电耦合器。其符号如图2所示。它的特点是:输入输出之间电气绝缘,抗干扰能力强,频带宽,体积小,寿命长,无触点,能传输模拟或数字信号等。已广泛应用于控制、检测和报警等各种装置中。

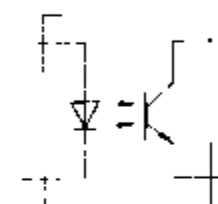


图2 光电三极管型光电耦合器符号

发展趋势 器件趋向于小型化及片状化。目标是提高其灵敏度,增宽光谱范围,使其具有选择性的光谱特性,降低暗电流和提高响应速度,逐步向多功能、集成化和智能化方向发展。

(刘承柱)

guangdian erjiguan

光电二极管 (photodiode) 在两个半导体之间的PN结附近或半导体与金属之间的接触面附近吸收辐射,而引起与电流方向相应的电阻或电压的变化。它是结型器件,用硅或锗作材料采用平面型结构制成。光谱范围:硅光电二极管为0.6~1μm;锗光电二极管为0.5~1.7μm。用作光电导器件时其PN结须反向偏置,光照激发所产生的载流子形成反向电流。其输出电流为μA级,与光照强度成正比,灵敏度典型值是0.1μA/Lx。

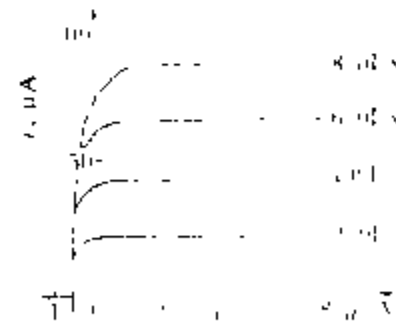


图1 光电二极管特性曲线图。图1是其特性曲线,电路图形符号如图2所示。光电二极管常用于光信息的检测和激光信号的解调。

基本类型

(1) PN 结型 (PD): 图 3 为其结构示意图。当 PN 结受到能量大于禁带宽度的光照时, 价带中的电子吸收光能后跃迁到导带成为自由电子, 同时在价带中留下空穴, 这些电子和空穴即为光生载流子。在结电场作用下, 耗尽区的光生载流子分别向 P 区和 N 区扩散, 使 P 区过剩空穴、N 区多电子, 建立起 P 正 N 负的电场, 阻止载流子的继续扩散。当受光照的光电二极管加反向电压后, 在内外两电场共同作用下, 光生载流子参与导电, 从而形成了反向的电流。它随入射光的强度变化而改变, 使光信号变成电流信号, 响应时间为 10^{-7} s。不受光照时 PN 结反向漏电流则为暗电流。

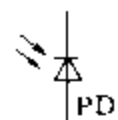


图 2 光电二极管符号

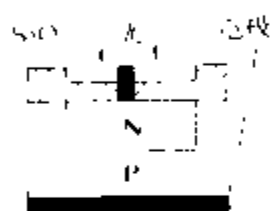


图 3 光电二极管的结构

根据衬底材料的不同光电二极管分为 2DU 和 2CU 两种型号。2DU 是以 P 型硅为衬底, 设有一个环极, 使用时其电位应始终保持高于光电二极管的负极电位, 以减少暗电流和噪声 (图 4)。2CU 是以 N 型硅为衬底, 不需设置环极, 只有两个引出线。一般光电二极管都有很好的线性特性, 典型的光信号放大电路如图 5 所示。

(2) PIN 型 (PIN-PD): 为适当选择耗尽层厚度, 在 P⁺ 型和 N⁺ 型层中间加入一层本征型的 I 型层, 可获得较高的灵敏度和较好的频率响应, 适用于快速反应场合。

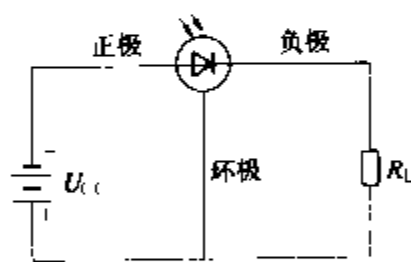


图 4 2DU 型管电路

(3) 雪崩型 (APD): 利用在高反向偏压下发生雪崩倍增效应而制成的光电器件。光电流增益可达 $10^2 \sim 10^4$, 灵敏度高, 具有光电信增效应。响应快, 可工作到 10^5 MHz, 适用于探测弱光信号。

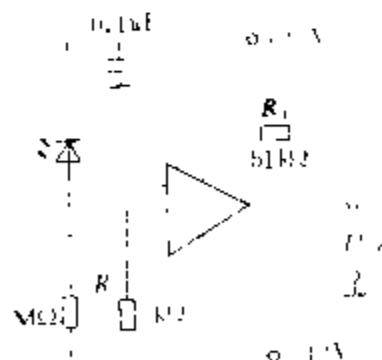


图 5 光信号放大电路

此外, 还出了肖特基结型光电二极管。一般而言, 在工作频率低于 10 MHz 的电路中应选用 PN 型, 高于 10 MHz 则应选用 PIN 型或雪崩型。

光电池 利用光生伏特效应将光能变成电能的器件。它与光电二极管在结构上仅是结而面积大小不同, 但其 PN 结是工作于零偏置状态下。此时, PN 结受光照后产生正向电压作光致发电器件。硅光电池

按衬底材料不同可分为 2DR 型和 2CR 型。图 6 为光电池的符号。按用途可分两大类: ①将太阳能转换成电能的器件, 主要用作人造卫星和宇宙飞船等的电源, 称太阳能电池; ②将光信号转换为电信号的器件, 如用于照相机电子快门的自动测光器, 称测量光电池。

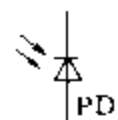


图 6 光电池的符号

(刘承柱)

guangdianli

光电离 (photoionization)

见电离。

guangdian sanjiguan

光电三极管 (phototransistor)

能将光能

转换成电能而又具有电流放大作用的光敏器件。目前

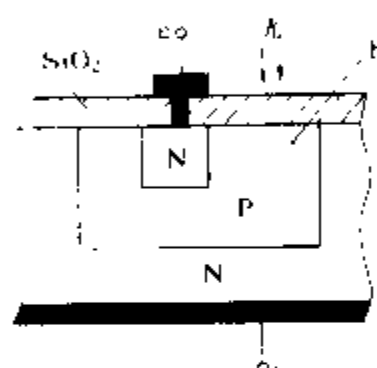


图 1 光电三极管的结构

已广泛用于工农业生产、交通监控、灾害报警和医疗监护等各个领域。用锗或硅单晶制造的两个 PN 结能组成 PNP 型或 NPN 型的光电三极管。图 1 为 NPN 型平面硅光电三极管 (3DU 型) 的结构示意图, 其电气图形符号见图 2。PNP 型光电三极管

型号为 3CU 型。

工作原理 光电三极管的结构相当于一个光电二极管与普通晶体三极管结合而成的组合件, 其等效原理图如图 3 所示。当电源电动势 E_{cc} 的正极通过 R_L 接到集电极 c, 电源负极接到发射极 e, 基极悬空浮置时, cb 的 PN 结就相当于一个光电二极管, 光照产生的电流正好作为基极电流 i_b 流入基极, 经放大 β 倍后在集电极输出随光照强度变化的集电极电流 i_c 。其伏安特性与普通晶体管的输出特性

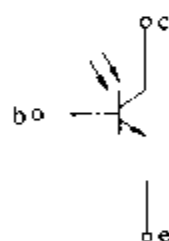


图 2 光电三极管符号

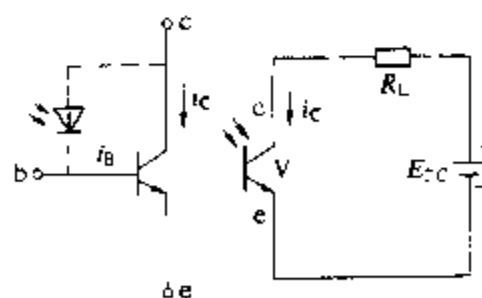


图 3 光电三极管的等效电路

曲线相仿, 只是用光照代替了基极电流, 见图 4。通常产品只有集电极和发射极有引出线。基极有引出线的光电三极管比基极没有引出线的管子更易受外界噪声的干扰。

基极装上引出线的目的是为了能更好地工作在管子的

线性区和改善弱光输入时的响应时间。

技术性能 典型产品的最高工作电压有 10 V、30 V 和 50 V 等档次；

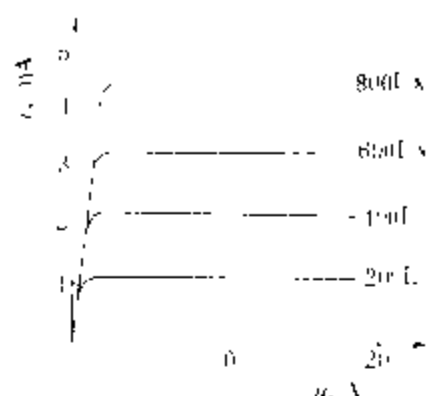


图 4 光电三极管的特性

极管当作白炽灯或用太阳光作光源，不宜用荧光灯。

(刘承柱)

guangpan cunchuqi

光盘存储器 (optical disk storage) 采用激光在盘式介质上进行高密度记录的信息存储装置。光盘所存储的信息有模拟式和数字式两种。用一微米级聚焦激光束在媒体表面上形成相应的物理变化来表示数据的记录；读出时，用聚焦激光束照射媒体表面，检测相应记录位所产生的光学性能上的差异。

光盘存储器的主要性能参数有存储容量、道密度、位密度、数据传输率、盘转速、平均存储时间等。它具有记录密度高 (10^3 bit/cm²，是硬磁盘的 100 倍)、存取速度快、寿命长、磁头与磁盘间非接触读写等优点。

自 1972 年菲利浦、MCA 公司发表光学式电视唱片以来，光盘发展异常迅速。它有只读型、一次写入型和可抹型三种：

(1) 只读型光盘。由厂家预先用激光在盘片上蚀刻不能再改写的视频、音频数字信息而成。激光电视唱片、数码唱片以及计算机用的小型只读型光盘均属此类。

(2) 一次写入型光盘。由用户写入，可多次读出，但不能擦除。要修改的数据只能追记在盘片上的空白区内，故又称为追记型光盘。它适用于不要修改的大型数据库系统。

(3) 可抹型光盘。主要包括磁光型、相变型和有机染料/聚合物型等；①磁光型。利用激光照射在磁性薄膜上产生的热磁效应来记录信息的方式。磁光型在研制、生产和应用等方面均居领先地位。②相变型。利用激光照射在 TeO₂、Ge Sb Te 等记录媒体上产生的相变效应来记录信息的方式。应用最多的是晶态—非晶态相变效应。③有机染料/聚合物型。利用激光照射在有机染料/聚合物媒体上形成凹凸坑来记录

信息的方式。

按照功能特征，可抹型光盘从改写型光盘驱动器向重写型光盘驱动器发展：①改写型。在写入信息之前，需要先抹后写。其媒体可换，可用其取代磁带和软盘作为硬盘驱动器后备存储器，广泛应用于高档微机、工作站及超级小型机中。②重写型。具有磁盘那样的“同时消录”功能，即在擦除旧信息的同时记录新信息。其驱动器速度高，容量大。20 世纪 90 年代初期尚处在样机不断提高完善阶段，商品化指日可待。预期今后重写型光盘驱动器会更加广泛地用作电子计算机和光计算机的外部存储器。

(林忱平)

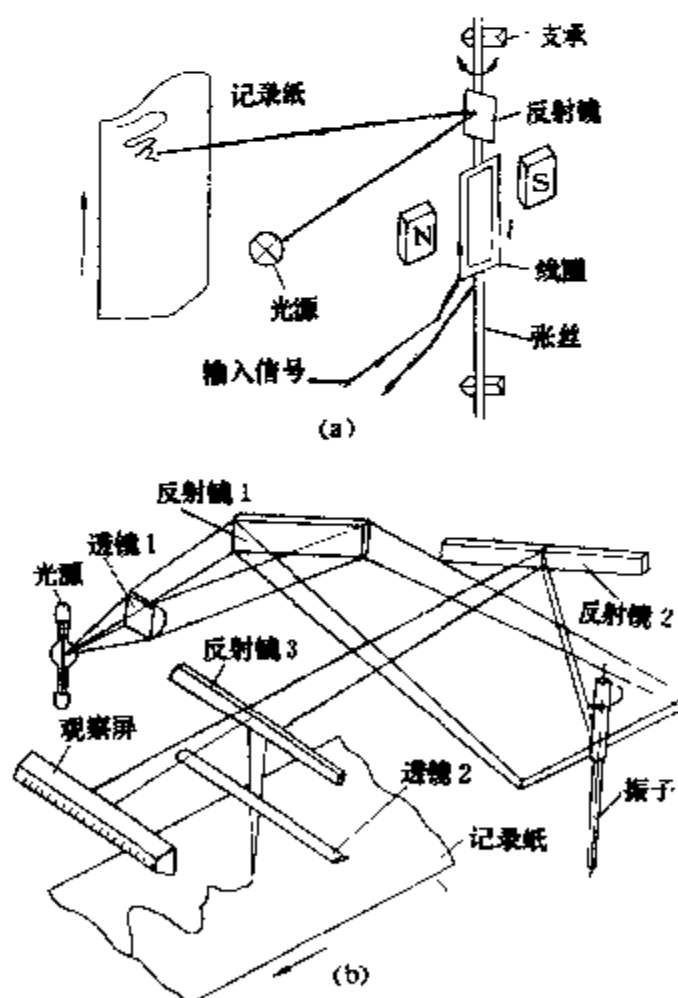
guangxian shiboqi

光线示波器 (light beam oscilloscope)

利用振子偏转将光点反射到感光纸上，以记录一个或多个电参量，如电流、电压、功率瞬时变化的记录仪器，又称机械示波器。

光线示波器由测量记录系统、记录纸传动系统和其他部分组成。

测量记录系统包括测量机构(由振子、磁系统、恒温装置组成)、光学系统和时间指示器系统；记录纸传动系统包括变速机构和摄像机构。



光线示波器原理图

(a) 测量机构；(b) 光学系统

测量机构的原理图如图(a)所示。当电信号输入振子线圈(见检流计)时，处于恒定磁场中的振子线圈

受力矩作用,带动反射镜一起偏转。这时反射光线在移动的记录纸上描绘出与输入电信号成比例的变化波形,从而得到被测信号的记录数据。

机械示波器的光学系统如图(b)所示。从光源发出的光线经圆柱透镜1聚焦,再经过反射镜1反射,使光线呈水平狭长光带照在振子的小镜上。小镜的反射光线由振子的透镜聚焦成细长光带,经反射镜又投向观察屏供观察用。另一部分光带被反射镜3反射,再经过圆柱而透镜2聚焦,形成小光点投在涂有感光剂的记录纸上,后者经过光照后留下潜象。当记录纸移动时,就能记录被测之量的变化过程。记录纸经过再次曝光,即可显示出所记录的波形。

光线示波器有如下特点:①可以采用放大光程长度的办法增大记录幅度,从而提高灵敏度和线性度;②要根据被测信号的频率选择振子(例如固有频率为15 kHz的振子,可以测量记录10 kHz以下的变化信号)、纸速及时标;③由于振子体积很小,可在共磁体上安装多个振子,以同时记录4~60个被测信号;④测量误差小于±3%~±5%,最高记录速度为0.5~5 m/s。

(高光润)

guifanxing

规范型 (canonical form) 状态空间表达式的几种特殊的简单形式,又称标准型。一个控制系统的输入、输出变量确定,内部结构可以有无穷多种。因此状态空间表达式也可以有无穷多种形式。有几种特殊的简单形式——规范型,为分析和设计提供了方便。

线性定常控制系统的状态空间表达式是

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \right\} (1)$$

$$x \in R^n, y \in R^q, u \in R^p$$

式中, x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

由某个 $n \times n$ 维正则矩阵 T 进行坐标变换,令 $x = T\tilde{x}$, $\det T \neq 0$, 就可以得到代数等价的另一个系统,或者说得到这个控制系统的另一种状态空间表达式

$$\left. \begin{aligned} \dot{\tilde{x}} &= \tilde{A}\tilde{x} + \tilde{B}u \\ y &= \tilde{C}\tilde{x} + \tilde{D}u \end{aligned} \right\} (2)$$

选择恰当的变换矩阵 T 就可以获得最简单的状态空

间表达式。由于不能同时使矩阵 A 、 B 、 C 和 D 都变成最简单形式,通常单输入可控系统矩阵对 (A, B) 可变换成下述规范型 (A_i, B_i) $i=1, 2, 3$, 式中 I 为么阵, a_1, a_2, \dots, a_n 为特征方程式

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & -a_n \\ \vdots & \vdots \\ I_{n-1} & -a_1 \end{bmatrix} \quad B_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -a_1 & & \\ & I_{n-1} & \\ -a_n & & 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & & & \\ & I_{n-1} & & \\ -a_n & -a_{n-1} & \cdots & -a_1 \end{bmatrix} \quad B_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A_d = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & \\ & \lambda_2 & \\ & & \ddots \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix}$$

$$A_f = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & \lambda_1 & \ddots & & \\ & & \ddots & 1 & \\ & & & \lambda_1 & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & \lambda_f \\ & & & & & & 1 \\ & & & & & & \lambda_f \\ & & & & & & & \lambda_{f+1} \\ & & & & & & & & \ddots \\ & & & & & & & & & \lambda_f \end{bmatrix}$$

$s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0$ 的系数, 它们称为可控规范型。单输出可观测系统矩阵对 (A, C) 可变换成 (A_i^T, B_i^T) $i=1, 2, 3$, 它们称为可观测规范型。

当 A 的特征根 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 互异时, 可将 A 变换成对角型 A_d 。当特征方程有互异的单根 $\lambda_{f+1}, \lambda_{f+2}, \dots, \lambda_f$ 和重根 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_f$, 且每个重根只对应于

个“约当块”时,可将 A 变换成约当型 A_J 。 A_J 主对角线上末一子块对应于单根,呈对角型。 A_J 主对角线上其余子块为约当块,约当块主对角线上元素为对应的特征根;紧邻主对角线上方的根斜线上元素为1,其余元素为0。 A_J 主对角线子块以外的其余子块,全部元素为0。

一个控制系统简化成各种规范型后:①可控性、可观测性保持不变;②特征值保持不变;③输入-输出传递函数矩阵保持变。

(顾锦汶)

guiwenya erjiguan

硅稳压二极管 (silicon voltage stabilizing diode)

在规定电流范围内,电极间可产生基本上恒定电压的硅二极管。在PN结反向偏置时,在某个特定的反向电压值下电流大大增加,这种现象称为击穿,引起击穿的机制有两类,一类称为齐纳效应,另一类称为雪崩效应。

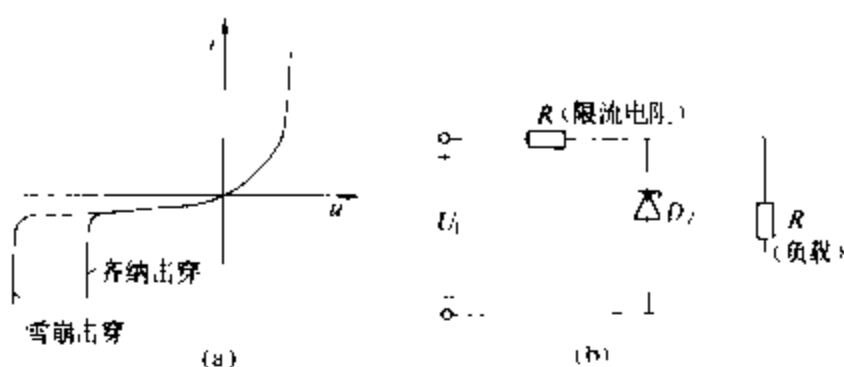
在薄的高掺杂的PN结二极管中,耗尽区很窄,在区内容易形成一个很强的电场。当反向电压加到某一定值时,这个电场将电子从晶格结构中拉出来,致使共价键受到破坏,从而产生大量的电子-空穴对,形成大电流。通常在5V或5V以下便出现这种现象,称为齐纳效应又称齐纳击穿。稳压值在5V以下的稳压管属于齐纳击穿。

加上大电压时,在普通的PN结中,电子也可以加速到高能量而从晶格中撞出其他电子,这些电子-空穴对又继续发生碰撞而产生出更多的电子-空穴对。这种载流子倍增过程称为雪崩效应,一般稳压值在6V以上的稳压管属于雪崩击穿。

当外加5V左右的电压即产生击穿时,两种效应同时存在。为工作于5V左右而设计的稳压二极管称为齐纳二极管。它具有稳压作用,因为当电流在一个较大的范围内变化时,它两端的电压几乎维持不变。这种二极管具有很低的温度系数,所以对温度变化颇不灵敏。而且,只要功率不超过二极管的允许耗散功率,击穿是无害的。

硅稳压二极管通常工作于反向击穿状态,用于稳定直流电压,其伏安特性如图(a)所示,典型应用电路如图(b)所示,图中与稳压二极管串联的电阻用于

限制流过稳压管中的电流,故常称为限流电阻。



硅稳压管

(a) 伏安特性; (b) 简单稳压电路

(康华光)

guiwenyaguan wenya dianlu

硅稳压管稳压电路 (zener voltage stabilizing circuit)

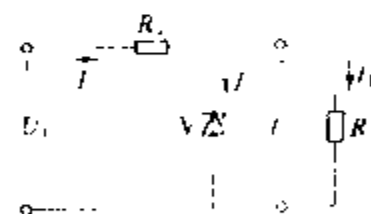
将硅稳压管和负载并联使负载两端电压近于恒定的电路。

由限流电阻 R_Z 和稳压管 V 串联组成的硅稳压管稳压电路如图所示。因电路中起稳压作用的稳压管是和负载 R_L 并联的,故又称并联式稳压电路。为了保证该稳压电路能正常工作,其限流电阻 R_Z 的选取应在输入电压为最小值 $U_{i\min}$ 、负载电流 I_L 为最大值 $I_{L\max}$ 时,能保证流过稳压管的电流 I_Z 不小于最小的稳定电流 $I_{Z\min}$;而在输入电压为最大值 $U_{i\max}$ 、负载电流为最小值 $I_{L\min}$ 时,又能保证流过稳压管的电流 I_Z 不大于规定的最大值 $I_{Z\max}$ 。即

$$\frac{U_{i\max} - U_L}{I_{Z\max} + I_{L\min}} < R_Z < \frac{U_{i\min} - U_L}{I_{Z\min} + I_{L\max}}$$

在满足上式条件下, R_Z 值选得越大,电路的电压调整率 $S_u = \partial U_L / \partial U_i \approx r_z / R_Z$ (r_z 为稳压管的动态电阻)就越小。该电路的输出电阻 $r_o = |\partial U_L / \partial I_L| \approx r_z$ 。

硅稳压管稳压电路结构简单,调试方便,但输出电压不能调节,输出电流受稳压管最大稳定电流的限制,故这种稳压电路通常只应用在输出电压不需调节,输出电流不大,且负载变动也不大的场合。



硅稳压管稳压电路的电路图

(叶治政)

H

hamidun - yakebi - beierman fangcheng

哈密顿—雅可比—贝尔曼方程 (Hamilton-Jacobi - Bellman equation) 见动态规划。

haiba jiaozheng xishu

海拔校正系数 (altitude correction coefficient) 拟用于高海拔地区的电气设备的外绝缘及干式变压器的绝缘在非高海拔地区进行试验时,应施加的试验电压与其额定耐受电压的比值。

随着海拔高度增加,空气的压力、温度、湿度等大气状态参量变化很大,电气设备外绝缘(包括干式变压器的绝缘)的放电电压下降。在高海拔地区及模拟高海拔地区的人工试验箱中得到的试验数据表明:在海拔高度高于1000 m,但不超过4000 m的高海拔地区,海拔高度每增加100 m,电气设备外绝缘的电气强度一般较标准状态下的数值约低1%。

为了使在非高海拔地区生产的电气设备在高海拔地区能安全运行,它们的外绝缘在非高海拔地区进行试验时的试验电压 U 应高于额定耐受电压 U_0 ,即 $U = K_a U_0$,式中 $K_a (>1)$ 为海拔校正系数。中国国家标准GB311.1-83《高压输变电设备的绝缘配合》规定,海拔校正系数

$$K_a = \frac{1}{1.1 - H \times 10^{-4}}$$

式中 H 为电气设备安装地点的海拔高度,m,1000 m $\leq H \leq 4000$ m。

(谈克雄)

haishi dianqiao

海氏电桥 (Hay bridge) 见交流电桥。

hanzi guobiaoma

汉字国标码 (national standard code for Chinese character information interchange)

中华人民共和国国家标准《信息交换用汉字编码字符集》所描述的编码。它共拟订六个汉字编码字符集标

准,分别命名为基本集、第一辅助集、第二辅助集、第三辅助集、第四辅助集和第五辅助集》其中:基本集、第二、四辅助集是简化字集,第一、三、五辅助集是繁体字集。且基本集与辅一、辅二与辅三、辅四与辅五中的汉字分别有简、繁体字的一一对应关系。

这六个集均采用双七位编码方式,每张代码表分为94个区和94个位,其中前15个区作为拼音文字及符号区或保留未用,16区至94区为汉字区。

基本集 GB2312-80《信息交换用汉字编码字符集·基本集》于1980年制订。该标准规定了汉字信息交换用的基本图形字符及其二进制编码表示,是计算机处理汉字时用的标准交换码,适用于一般汉字处理、汉字通信等系统之间的信息交换。

基本集共收汉字6763个,分为两级。它将使用频度高的常用字作为第一级汉字,共计3755个,按汉语拼音字母顺序排列,将次常用字作为第二级汉字,共计3008个,按部首排列。除汉字外,该标准还收集了一般符号202个(包括间隔符、标点符号、运算符号、单位符号和制表符号等),序号60个,数字22个,拉丁字母52个,日文假名169个,希腊字母48个,俄文字母66个,汉字拼音符号26个,汉字注音字母37个,连同汉字一共7445个图形字符。

第二、四辅助集 GB7589-87《信息交换用汉字编码字符集·第二辅助集》和GB7590-87《信息交换用汉字编码字符集·第四辅助集》所收集的都是简化汉字,作为基本集的补充,供用字量大的用户使用。其中第二辅助集收汉字7237个,第四辅助集收汉字7039个。两个集中的汉字均按部首排列,从代码表的第16区开始存放,前15区保留未用。这两个集中大约有4200多个汉字是经类推简化而得到的,极少使用。

第一、三、五辅助集 为了使简化字和繁体字之间便于进行代码转换,繁体字的编码采用了与简化字一一对应的映射方式。

第一辅助集共收图形字符7581个,其中前15区是拼音文字及符号区,计有717个字符,除收集了基本集符号区中的682个字符外,还增加了35个竖排标点符号及汉语拼音符号。从第16区开始是汉字区,共收6864个繁体汉字,其中一级汉字3755个,二级汉字3008个,增补汉字101个。

第三、五辅助集分别收入了与第二、四辅助集对应的繁体汉字集。

(金连甫)

hanzi shuru shuchu shebei

汉字输入输出设备 (Chinese character input and output device) 计算机与人之间进行汉字

信息交换的设备。汉字数量大,字形复杂,同音字多,因此需要解决汉字的输入方法,字形信息的压缩和存放,字体及字形变换等问题。20世纪80年代以来,中国已有一批实用的汉字输入输出设备。

汉字输入设备 将汉字输入计算机,要解决汉字与计算机内部码之间的转换问题,输入方式有键盘输入法、识别输入法和语音输入法三种,相应地有三类汉字输入设备。

汉字键盘输入设备 用手工击键输入汉字的设备。有整字和编码二种键盘:①整字汉字输入键盘。将常用的约3000个汉字做在一个大键盘上,一个键对应一个汉字。为缩小键盘,可在一个键上标明6~12个汉字,另配一个相应的选择键,输入一个汉字就需按二次键。这种键盘适合于专用部门。②编码汉字输入键盘。将汉字按一定规则和要求编码后,用标准字符键盘输入。常见的编码方案有:采用拼音的音码法;采用笔形、部首的形码法(如五笔字形法);音形相结合的音形码法;根据词意文意的联想法;用记忆方法的中文电报码和国际码区位号输入法等。除记忆法外,各类编码方法都还存在一码多字(重码)、一字多码(二义性)、规则过于复杂、记忆量大、不易推广等问题,需要进一步研究和优化。目前可以用硬件和软件方法来弥补上述不足,所以绝大多数汉字输入均已采用编码键盘,并配有多种编码方法。

识别汉字输入设备 利用自动化方法将汉字送入计算机的设备。其中有:①印刷体汉字识别机。它由扫描器将纸上的汉字字形,以点阵的形式采样输入,并转换为二进制代码由计算机接收。经过前置处理提取特征,分类后与标准模型汉字的特征比较,结合上下词义优化后进行识别。印刷体汉字字形相对稳定,因此识别比较容易。手写体汉字字形变化大,识别难度也大,有待进一步进行实用化研究。②联机实时手写汉字识别设备。在书写的同时进行识别,一般采用数字化图板,书写时利用笔顺、笔画方向抽取更多的信息,对相交笔画的分割提取时间差别信息,经分析比较后进行识别。这种汉字识别设备已有商品出售,它能辨别不同人的书写特点,因此可用于识别签名。

语音汉字输入设备 利用人的声音输入汉字的设备。有单字和多字识别系统:①单字识别系统。它根据各个字的语音参量之间的差异,经逻辑分析和判断来进行识别。由于技术上的限制,目前识别的字有限;②多字识别系统。它可以对多个字和一句话来进行识别。在识别之前不同的发音者需对机器进行训练,提取特征形成标准,然后正式输入。现已用在特殊场合,普及还有待进一步开发。

汉字输出设备 用计算机输出汉字,需解决由机

器内部码转换成汉字字形的问题。字形多数以点阵式存放,少数以模拟方式存放。汉字输出设备主要有汉字显示器和汉字打印机。

汉字显示器 将要输出汉字的字形以扫描方式呈现在显示屏上的设备。它由字符显示设备和汉字字形库组成。主要有以下几种:①阴极射线管显示器。利用与电视机相类似的扫描方法,由电子束反复以固定的速度逐行扫描,先从显示缓冲区取出相对应行的汉字代码,按代码从汉字字形库读出字形信息的第一行,依次再读出本行下一个汉字的第一行字形信息,直至将整行汉字显示完成。还可利用显示图形的方法,将需显示的汉字字形直接存放在显示缓冲区,但这需要有较大容量的快速存储器。②等离子显示器。在两块平板玻璃中封入电离发光的气体,玻璃板上有用光刻成矩阵的透明导电电极,接受汉字字形的控制信号形成电场,使气体电离发光显示汉字。③液晶显示器。在两片敷有透明导电电极的平板玻璃夹层中,封装着光学上具有晶体性质的流体(液晶),控制透明电极上的电压可显示汉字。

汉字印字机 由计算机控制在纸上以点阵方式印出汉字的设备。原则上,任何点阵式输出设备都可以输出汉字。一般分击打式和非击打式二类:①击打式印字机。主要是针式汉字打印机。其打印头由一系列直径约0.2mm的合金钢针和驱动它们的电磁铁组成。通常为24针。受汉字字形信息控制,每次打击字形中的一列,打印头横向移动,即可打印出一行汉字。②非击打式印字机。主要有激光印字机、喷墨印字机、发光二极管印字机和热转印印字机等。应用较多的激光印字机是由载有汉字字形信息的光束,投射到旋转的记录硒鼓面上,鼓上预先充有均匀的电荷,由激光曝光后,失去部分电荷形成静电潜象,经干式显影呈现带有墨粉的汉字字形,受静电场作用鼓面墨粉被吸附到纸面上。经定影处理后完成汉字印刷。大部分输出设备均可印出彩色汉字。

以上输出设备中,应用最为广泛的是针式打印机,它正在不断地提高打印速度。如果采用压电元件作为针驱动器,则其打印针工作频率可超过3000Hz。

(郑振华)

hanzi xinxi chuli

汉字信息处理 (Chinese character information processing)

实现计算机对汉字信息的输入输出和加工处理的技术。由于汉字是方块文字,由字组词,字种比西文字母多得多,因此汉字处理要比西文复杂,突出表现在汉字处理软件和汉字输入输出技术等方面。但从信息处理观点看,汉字信息处理与西文信

息处理均为非数值处理,两者没有本质的区别。因此在汉字信息处理中宜把汉字看成是西文字符的扩充,采用与西文兼容的处理技术,以充分利用已被长期的实践所检验的大量软件财富,有利于计算机的应用与推广,扩大与国际上的交往和程序交流。

汉字信息处理软件 使用计算机进行汉字信息处理的软件。主要有:

(1) 汉字输入处理程序。接收给定的某种汉字输入编码,进行同码处理,将每个汉字输入码变换成唯一的汉字机内码。

(2) 阴极射线管(CRT)汉字显示处理程序。根据汉字机内码产生相应的汉字字型,并在CRT上以作图方法显示出来。

(3) 汉字打印处理程序。根据汉字机内码产生相应的汉字字型,并在点阵打印机上打印出来。需要解决各种规格字型的形成和放大、旋转、检索等操作。

(4) 支持汉字处理工具软件。计算机支持汉字信息处理的工具软件,一般以应用软件形式出现,例如:汉字编辑程序、汉字库建立和维护程序、汉字字典生成程序等。这些程序一般处在用户级,所以用户可以根据自己的需要建立各种汉字处理软件工具。

前三个程序是计算机直接对汉字信息进行处理的最基本的软件,称为汉字信息加工软件。一般它也是支持汉字处理的操作系统的必要组成部分。

汉字输入输出技术 实现汉字输入输出设备与计算机之间传递汉字信息的处理技术。尽管汉字输入输出设备品种繁多,但从结构和实现上可分为智能型和非智能型两种。智能型汉字设备均自带汉字库和具有汉字处理能力,汉字信息加工软件一般固化在可擦可编程只读存储器(EPROM)中由智能设备执行,智能设备与主机之间信息传递为汉字机内码。非智能型汉字设备不具有汉字库和汉字处理能力,汉字信息加工

软件纳入操作系统的设备驱动程序中,作为操作系统的一部分运行,汉字输入设备与主机之间传递信息为汉字图形信息。

早在20世纪50年代后期,中国进行了值汉机器翻译工作,限于当时的技术和物质条件,未能实现。随着计算机的发展和客观的需要,从70年代起汉字信息处理的研究蓬勃发展,到80年代已进入实用阶段,研制开发出一批具有汉字信息处理能力的系统和应用软件,如汉字操作系统、网络软件、高级语言和数据库管理系统等,在企业管理、办公自动化、激光照排、情报资料检索、军事指挥等领域得到广泛的应用。

(金连甫)

hecheng jueyuanyou

合成绝缘油 (synthetic insulating oil)

人工合成的绝缘油,简称合成油。因矿物绝缘油制取工艺复杂、耐热性低、易燃烧、相对介电常数低(作电容器介质时),不能满足各种用途对绝缘油的要求,因而发展了多种用途的合成油。20世纪30年代初,美国合成了电气性能优良,且具有不燃性的极性液体多氯联苯(PCB),用作电容器和变压器油,提高了容量和安全性。但因PCB具有毒性及非生物降解性逐渐被禁用。目前发展的合成油主要有芳烃合成油、硅油、聚丁烯、酯类油及少量醚类、砜类油。常用合成油的性能列于表中。一般合成油亦多采用白土净化处理,以提高其绝缘性能。白土用量约为油重的0.5%~3%,处理温度约为40~80℃。

芳烃合成油 常用的有十二烷基苯(DDB),



$C_{12}H_{25}$ 。侧链中无支链时易生物降解,称为

软质烷基苯,否则称为硬质烷基苯。二者的电气性能相近。它是毒性是低的合成油之一。DDB为弱极性材料,

常用合成油的性能表

名称	简称	闪点 (℃)	凝点 (℃)	运动粘度 (mm^2/s) $\times 10^{-1}$ 40℃(30℃)	相对介 电常数 (80℃)	$\lg \epsilon$ (%) 50Hz (80℃)	ρ_r (g/cm^3) (80℃)	E_a (kV) 2.5mm	电气性 ($\mu l/min$) (80℃)
十二烷基苯	DDB	135	-60	9.0	2.17	0.02	2.5×10^{13}	40	-75
二芳基乙烷	PXE	148	-47.5	6.3	2.51	0.03	2.5×10^{13}	70	-130
二异丙基苯	DIPN	154	-47.5	7.5	2.48	0.03	2.5×10^{13}	70	-153
异丙基联苯	IPB	143	-50	6.5	2.55	0.04	6×10^{13}	70	-154
苯基甲苯	MBT/DET	144	<-55	3.9	2.65	0.1	9×10^{13}	70	-120
甲基硅油	MSO	272	<-50	(48)	2.52	0.03	10^{13}	40	析气
苯甲基硅油	PMSO	280	-65	(30)	2.6	0.03	10^{13}	45	-70
聚丁烯	PB	252	-60	(85)	5.2	0.01	5×10^{13}	50	

具有优良的电气性能和热氧老化稳定性,介电强度高,吸气性较好。铜、铅、锌、锡、铜、铝对之几乎不起催化老化作用,但易使橡胶溶胀。DDB 主要用于浸渍纸和纸膜复合介质,可用作电缆、电容器和变压器的绝缘油。此外,属于芳烃合成油的还有:异丙基联苯(IPB),二芳基乙烷(PXE),异丙基萘(DIPN),苄基甲苯 MBT/DBT 的混合油等。它们均具有优良的电气和物理化学性能,并具有特别优良的吸气性,使用工作场强高于 DDB,可用于浸渍纸、纸膜复合介质。除 DIPN 外,均为优良的全膜电容器的浸渍剂。

硅油 分为甲基硅油和苯甲基硅油,其特点是耐热性优良,工作温度可达 150~200℃。硅油的粘度温度特性平坦,故亦有高的耐寒性。用作绝缘油的硅油粘度约为 $(20\sim50)\times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。因硅油价格高,多用于安装在防火要求较高场所的电容器、变压器和电缆中。

聚丁烯 为非极性液体,其 ϵ_r 、 $\tan\delta$ 小,介电性能与稳定性优于矿物油,具有吸气性。改变聚合度可得到粘度不同的聚丁烯,以满足钢管充油电缆和低压电容器的不同要求。

酯类油 多数酯类油的闪点高,毒性低,介电性能较好,但粘度偏大。因是极性介质, ϵ_r 约为 3~7,主要用于低压电容器。常用的酯有磷酸三甲苯酯、邻苯二甲酸酯、苄基新癸酸酯、季戊四醇酯、偏苯三酸酯等。

少数醚类和砜类油 双甲苯醚(DTE)的电气性能及物理化学性能优良,适用于膜纸及全膜电容器。二芳基砜和芳烃合成油混合在电容器中也有应用。

(王友功)

hezi

赫兹 (hertz) 国际单位制(SI)中频率的单位。每秒变化1周定义为1赫兹,即,若周期变量的周期为1s时其频率为1赫兹。赫兹简称赫,符号是 Hz。无线电频率通常以千赫(kHz)或兆赫(MHz)来计量。

(陈允康)

hengli

亨利 (henry) 国际单位制(SI)中自感、互感、磁导等量的单位。亨利简称亨,符号是 H。闭合电路中的电流以1A/s的均匀变化率变化,可使电路中产生1V的感应电动势时,此闭合电路的自感定义为1H。

(肖达川)

nengding dianchang

恒定电场 (steady electric field) 与不随时间而变的恒定电流相伴随而存在的电场。恒定电场

中电荷是以恒定的速度在导电媒质中运动,形成恒定电流。要维持持续的恒定电流,要求在导电媒质内部具有恒定的电场强度,需要有能够将其其他形式的能量持续地转换为电能的外加直流电源。直流电源具有恒定的电动势 \mathcal{E} ,它能够把正电荷从电源负电极移到正电极。电动势 \mathcal{E} 等于从负电极到正电极沿电源内部路径 l 局外电场强度 E' 的线积分,即

$$\mathcal{E} = \int_l E' \cdot dl$$

式中 dl 为路径上的长度元。

恒定传导电流 除了真空以外,实际上所有的物体都具有一定数量的自由电子或离子,只是数量级差别极大。如果把物体与直流电源相连接,在 E' 的作用下,就有可能在物体内部形成恒定电流,电流的大小取决于物体导电性能的强弱。衡量物体导电性能的电参数是电导率 γ 。良导体的 γ 约在 $10^6\sim 10^7 \text{ S/m}$ 数量级,而良绝缘体的 γ 在 10^{-16} S/m 数量级。在忽略了极微弱的传导电流情况下,绝缘体内的电场可按静电场来分析。物体内部的自由电子或离子在恒定电场作用下,发生恒速宏观运动,这样的电流叫做恒定传导电流。恒定的传导电流流过物体时,运动电荷与物体晶格相互作用,产生不可逆的能量转换,物体发热散失能量;要维持恒定电流,需要外加直流电源来提供能量,所以外加直流电源是恒定电场不可缺少的场源。

电流密度 当物体中有恒定电流流通时,物体内部各点处的电流可能方向不同,电流的密度也不尽相同,特别是物体具有不均匀的截面时更是如此。因此在恒定电场中常采用电流密度矢量 J 来表示各点处的电荷运动情况。流过物体整个截面 S 的电流 $I = \int_S J \cdot dS$ 。 J 是通过面元 dS 处的电流密度,方向由该处正电荷流动方向决定。电流密度的单位是安培每平方米(A/m^2)。 J 是描述恒定电场的一个重要物理量。

恒定电场的基本方程 导体与直流电源接通后,沿整个电流回路 l 有

$$\oint_l (E' + E) \cdot dl = \mathcal{E}$$

根据电流连续性原理,在恒定电场中,电荷是以恒速运动,物体内部电荷分布处于动态平衡,电荷体密度不随时间而变,因此电流密度遵循积分形式的电流连续性原理

$$\oint_S J \cdot dS = 0$$

或相应地有微分形式

$$\nabla \cdot J = 0$$

恒定电场中 J 与 E 的关系 在电源内部区域有

关系式 $J = \gamma(E + E')$, γ 是电源内部媒质的电导率。在工程实际问题中, 通常人们主要关心的是具有恒定电流的电源外部导电物体内的恒定电场, 此时 $E' = 0$, 于是

$$J = \gamma E$$

式中 γ 为电源外部媒质的电导率。

同样, 在电源外部导体区域内任取一闭合路径 l , 有 $\oint_l E \cdot dl = 0$ (因 E' 与 E 为零), 相应地有 $\nabla \times E = 0$ 。该物体区域内仍可引入电位 V , $E = -\nabla \cdot V$ 。

静电比拟 比较静电场与恒定电场的基本方程可知: 静电场中没有电荷体密度 ρ 的分布的区域和恒定电场中电源外部导电物体内部两种情况下, $\nabla \cdot D = 0$ 与 $\nabla \cdot J = 0$ 对应 (D 是电位移矢量); 两种电场内 $\nabla \times E = 0$ 都成立, 而媒质的性能方程 $D = \epsilon E$ 与 $J = \gamma E$ 又相对应 (ϵ 是媒质的电容率)。这些方程的数学形式类似, 如果再加上两种电场的边界形状也完全相似这一条件, 则这两种电场的求解问题完全可以相互比拟。求出其中一种电场的解答后, 只要将对应的物理量 (如 J 与 D , γ 与 ϵ) 进行替换, 即可得到另一种电场的解答。这样的处理方法叫作静电比拟。由于恒定电场易于实现和便于测量, 在工程中常被用来比拟其他具有相似条件的另一类物理场, 并在模拟研究中得到广泛应用。此外, 电工技术中的绝缘电阻或接地电阻的计算, 也可利用静电场的电容公式或计算方法, 作相应的比拟替换。

(方正翔)

hugandijiaoyanyi

互感器校验仪 (instrument transformer calibrator) 测定互感器比差和角差的仪器。设被校验电流 (或电压) 互感器 T1 的二次电流为 \dot{I}_{2x} (或二次电压 \dot{U}_{2x}), 标准电流互感器 T2 提供的标准二次电流为 \dot{I}_{20} (或标准二次电压 \dot{U}_{20}), 其相量差为 $\Delta \dot{I}$ (或 $\Delta \dot{U}$)。若将 $\Delta \dot{I}$ 分解为与 \dot{I}_{20} 同相的分量 $\Delta \dot{I}_1$ 及与 \dot{I}_{20} 垂直的分量 $\Delta \dot{I}_2$ (或将 $\Delta \dot{U}$ 分解为与 \dot{U}_{20} 同相的 $\Delta \dot{U}_1$ 及与 $\Delta \dot{U}_{20}$ 垂直的 $\Delta \dot{U}_2$), 相量图如图 1 所示, 则电流互

感器的比差 $f = \frac{I_{2x} - I_{20}}{I_{20}} \times 100\% \approx \frac{\Delta I_1}{I_{20}} \times 100\%$, 角差 $\delta \approx \frac{\Delta I_2}{I_{20}}$ (以弧度表示)。对电压互感器, 比差 f

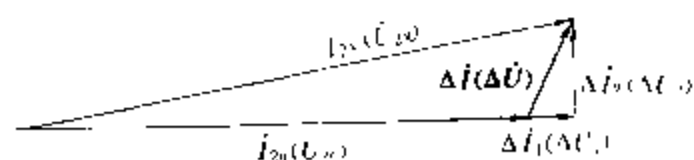


图 1 电流差 (电压差) 相量图

$$\approx \frac{\Delta U_1}{U_{20}} \times 100\%, \text{ 角差 } \delta \approx \frac{\Delta U_2}{U_{20}}.$$

电流互感器校验仪的原理图见图 2。标准电流 \dot{I}_{20} 通过电阻 r 变换为电压 \dot{U}_b (校验电压互感器时, 电压 \dot{U}_b 得自标准电压 \dot{U}_{20})。 \dot{U}_b 加到变压器 T3, 其二次绕组的两端经倒反相位的开关 S1 和 S2 分别接到可变电阻 G 和可变电容 C 。二次绕组的中点 J 接到比较仪 T4 的一次侧。流经 G 和 C 的电流 \dot{I}_G 和 \dot{I}_C 用以供给与 \dot{I}_2 (或 \dot{U}_{2x}) 同相和相位差为 90° 的标准电流分量。

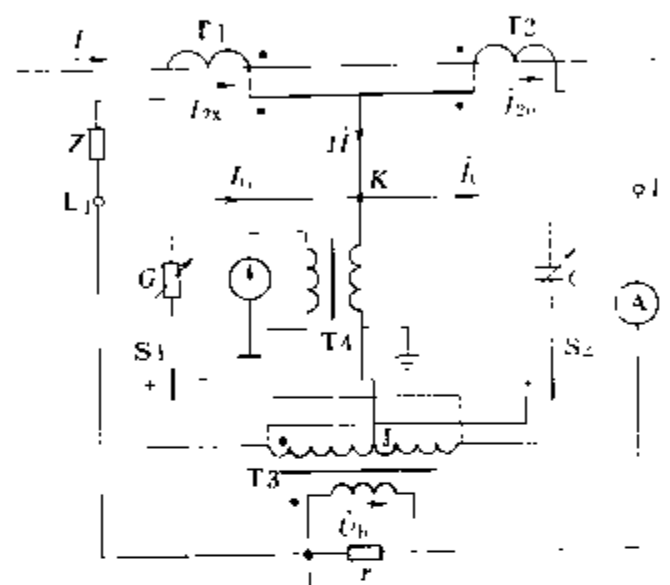


图 2 电流互感器校验仪原理图

电流差 $\Delta \dot{I}$ 与 \dot{I}_G 、 \dot{I}_C 同时经 K 点流入电流比较仪 T4 的一次绕组。当接于 T4 的二次绕组的检测仪表指零时, 即有 $\dot{I}_G + \dot{I}_C + \Delta \dot{I} = \dot{I}_G + \dot{I}_C + \Delta \dot{I}_1 + \Delta \dot{I}_2 = 0$, 或 $\dot{I}_C = -\Delta \dot{I}_1$ 及 $\dot{I}_G = -\Delta \dot{I}_2$ 由 G 和 C 的值可求得 ΔI_1 和 ΔI_2 。通常由 G 和 C 的刻度可直接读出比差 f 和角差 δ 的数值。校验电压互感器时, 令电压差 $\Delta \dot{U}$ 流经电阻转换为电流差 $\Delta \dot{I}$, 再与 \dot{I}_G 和 \dot{I}_C 经 K 点共同加到 T4。调 G 和 C 使检测仪表指零时, 可自 G 和 C 的刻度读出电压互感的比差和角差值。

互感器检定规程规定: 由检验仪灵敏度和最小分度值所引起的测量误差, 分别不得大于被检互感器允许误差的 $1/20$ 和 $1/15$ 。互感器校验仪本身的准确度一般为 $0.5\% \sim 3\%$, 这是测量差值的误差, 因而可忽略不计。

(赵修民)

huyi dingli

互易定理 (reciprocity theorem) 阐述线性时不变电阻电路中激励端口和响应端口可互换位置的定理。对于由线性时不变电阻组成的二端口网络, 在单一激励的情况下, 当激励端口和响应端口互换位置时, 响应不因这种互换位置而有所改变。

互易定理具有如下两种形式:

(1) 激励端口接电压源 u_s , 响应端口短路, 响应

是指短路支路中的电流 i_2 [见图 1 (a)]; 若将电压源 u_1 和短路支路互换位置, 则这时的响应 \hat{i}_1 [见图 1 (b)] 应与 i_2 相等, 即

$$\hat{i}_1 = i_2$$

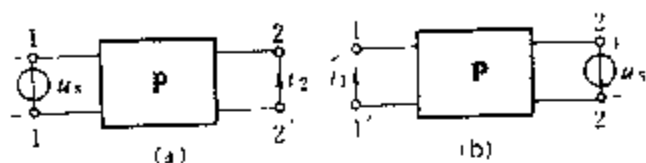


图 1 电压源的互易
(a) 互易前; (b) 互易后

(2) 激励端口接电流源 i_1 , 响应端口开路, 响应是指开路端口的电压 u_2 [见图 2 (a)]; 若将电流源 i_1 和开路支路互换端口位置, 则这时的响应 \hat{u}_1 [见图 2 (b)] 应与 u_2 相等, 即

$$\hat{u}_1 = u_2$$

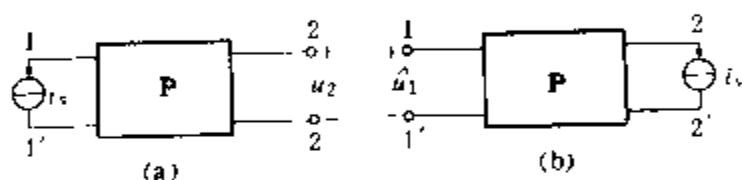


图 2 电流源的互换
(a) 互易前; (b) 互易后

对于只含电阻、电感、电容的线性时不变无源网络, 在分析电路的正弦稳态响应和零状态响应时, 互易定理也同样适用。

利用互易定理有时可以简化电路的分析和计算。

(江慰德)

huahewu bandooti cailliao

化合物半导体材料 (compound semiconductor materials) 具有半导体性质的化合物。这类半导体材料种类很多。Ⅲ族元素硼、铝、镓、铟和Ⅴ族元素氮、磷、砷、锑可组成 16 种二元Ⅲ-Ⅴ族化合物半导体, 为闪锌矿型或纤维锌矿型结构。Ⅱ族元素锌、镉、汞、Ⅳ族元素铅和Ⅵ族元素硫、硒、碲组成 12 种Ⅱ-Ⅵ和Ⅳ-Ⅵ族化合物半导体。含有二种同族元素的三元或四元系化合物半导体其组合数更多。镓系四种Ⅲ-Ⅴ族化合物中砷化镓、磷化镓获得广泛的应用, 室温下, 砷化镓的禁带宽度 E_g 为 1.42 eV, 电子迁移率比硅大数倍, 为直接带隙半导体, 很受重视。磷化镓的 E_g 为 2.26 eV, 为间接带隙半导体, 用于可见光发光材料。铟系除氮化铟外, 砷化铟和磷化铟的电子迁移率大, 可作霍尔器件。锑化铟的 E_g 为 0.18 eV, 可用于红外光电器件。磷化铟目前正积极进行研究, 是四元系长波长激光器衬底材料。三元、四元化合物较成熟的有

GaAsP、AlGaAs、GaInP、InAsP、InGaAsP、AlGaAsSb 等。Ⅰ-Ⅵ族化合物属六方或立方晶系, 为直接带隙半导体, 用于发光、激光、红外器件。硫化铅、硒化铅、碲化铅均为氯化钠型结构, 为直接带隙半导体, 为光电、热电材料。三元化合物 HgCdTe、PbSnTe 是很受重视的红外光电材料。此外, Ⅰ-Ⅴ族、Ⅰ-Ⅵ族、Ⅰ-Ⅳ族、Ⅱ-Ⅴ族、Ⅱ-Ⅵ族、其他Ⅳ-Ⅵ族、Ⅴ-Ⅵ族以及Ⅰ-Ⅲ-Ⅵ族、Ⅰ-Ⅴ-Ⅵ族、Ⅰ-Ⅲ-Ⅳ族、Ⅰ-Ⅳ-Ⅴ族等三元化合物有许多都是半导体材料。另外, 许多金属氧化物也属半导体材料。

(刘恩科)

huanjie

环节 (element) 组成控制系统的, 可用最基本的典型的微分方程或传递函数描述的元件或部件。有以下几种典型的环节: 比例环节, 一阶惯性环节, 微分环节, 积分环节, 振荡环节, 二阶惯性环节和纯滞后环节。众多复杂的控制系统都是由上述典型环节以不同方式串联、并联、反馈组成的。

比例环节 输出量与输入量成比例的环节, 可以表示为

$$y = Kx$$

式中 y 为输出量; x 为输入量; K 为该环节的放大系数。机械杠杆、齿轮系、电位计以及电子放大器 (在特性曲线的直线部分工作) 等等, 都是比例环节, 也称为“无惯性环节”。

一阶惯性环节 输入量的作用不立即在输出端全部表现出来, 而是有一定的延缓, 也就是说有惯性的环节。图 1 (a) 是由 RC 串联电路构成的一阶惯性环节以及一个比例环节。可以写出电容器上电压 u_c 与输入电压 u_i 关系式为

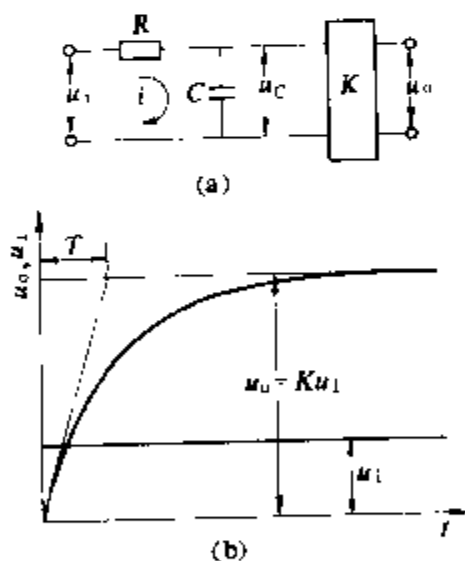


图 1 RC 电路一阶惯性环节

(a) 原理图; (b) 动态特性

为 $u_o = K u_c$, 因而得 u_o 与 u_i 的关系式为

$$T \frac{du_o}{dt} + u_o = K u_i$$

式中 $T = RC$ 是电路的时间常数。图 1 (b) 表示, 输入端加上一个阶跃量 u_i , 输出量以指数规律逐渐上升, 最

部表现出来, 而是有一定的延缓, 也就是说有惯性的环节。图 1 (a) 是由 RC 串联电路构成的一阶惯性环节以及一个比例环节。可以写出电容器上电压 u_c 与输入电压 u_i 关系式为

$$T \frac{du_c}{dt} + u_c = u_i$$

式中 $T = RC$ 是电路的时间常数。经过比例环节后, 输出电压

后趋于稳态值。也可以不经比例环节，即 $K=1$ 。

微分环节 输出量与输入量关于时间的导数成正比的环节。图 2(a) 表示由 RC 电路构成的微分环节以及一个比例环节。微分环节的方程为 $u_R + \frac{1}{RC} \int_0^t u_R dt = u_i$ ，连

同比例环节，有 $u_o = Ku_R$ ， $T \frac{du_o}{dt} + u_o = KT \frac{du_i}{dt}$ 。电路的时间常数 $T=RC$ 数值很小而放大系数 K 很大时，可近似地得到关系式

$$u_o = KT \frac{du_i}{dt}$$

即输出量与输入量关于时间的导数成正比。

积分环节 输出量与输入量的积分成比例的环节。图 3 表示的小惯量直流伺服机，是积分环节以及一个比例环节的例子。电枢电压 u_a 为环节的输入量，当励磁绕组加以恒值直流电压并忽略电枢回路的时间常数时，电动机电枢转过的角度 θ 为

$$\theta = K \int u_a dt$$

图 3 小惯量

直流伺服机 式中 K 为常数。

当输入量 x_i 为常数时，输出量 x_o 是按一定斜率增长的直线，如图 4 所示。

二阶环节 (振荡环节和二阶惯性环节) 图 5(a) 所示的，由电感 L 、电容 C 和电阻 R 串联组成的电路是二阶环节的例子，它和一个比例环节在一起，可以写出如下方程

$$T_1 T_2 \frac{d^2 u_o}{dt^2} + T_1 \frac{du_o}{dt} + u_o = Ku_i$$

式中 $T_1=RC$ ， $T_2=L/R$ 。

二阶环节的特征方程有两个根 p_1 和 p_2 。若 p_1 和 p_2 是具有负实部的共轭复数，则 u_o 将是逐渐衰减的振荡过程，如图 5(b) 所示，这样的二阶环节是振荡环节。

若 p_1 和 p_2 是负实数，则 u_o 的动态特性是非周期性的，这样的二阶环节是二阶惯性环节。

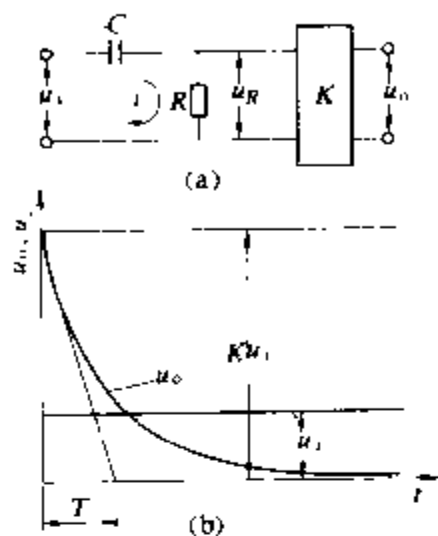


图 2 RC 电路微分环节

(a) 原理图；(b) 动态特性

纯滞后环节 输出比输入滞后一定时间的环节，其方程为

$$y(t) = x(t - \tau)$$

式中 $y(t)$ 为输出量， $x(t)$ 为输入量， τ 为纯滞后时间。

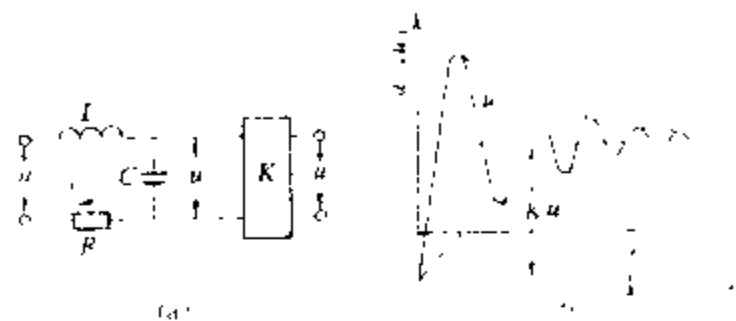


图 5 RLC 串联电路二阶环节

(a) 原理图；(b) 作为振荡环节时的动态特性

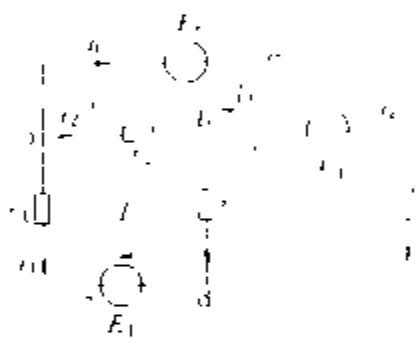
(徐瑞德)

hulufa

回路法 (loop analysis) 以假想的回路电流作为待求量来求解电路问题的方法。

回路电流 回路电流是假想的沿着回路流动的电流。图示电路图中，回路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 用带箭头的虚线表示。箭头代表回路电流方向。回路电流 I_1 沿回路 abda 流动，即 I_1 流经电动势 E_1 和电阻 r_1 、 r_2 、 r_3 。

回路电流 I_2 流经电动势 E_4 和电阻 r_3 、 r_4 、 r_5 。回路电流 I_3 流经电动势 E_4 、 E_5 和电阻 r_4 、 r_2 、 r_6 。



电路图

支路电流和回路电流的关系 每条支路里的实际电流按下式由回路电流求出

支路电流 = 流经该支路的所有回路电流的代数和
图示电路图中的 6 个支路电流 $i_1 \sim i_6$ 为

$$\begin{aligned} i_1 &= I_1, & i_5 &= I_2, & i_6 &= I_3 \\ i_2 &= I_1 - I_3, & i_3 &= I_1 - I_2, & i_4 &= I_3 - I_2 \end{aligned}$$

回路法方程的建立 对于平面网络 (将电路图画在纸上后不出现交叉支路的网络)，选择每个网孔 (见网络拓扑) 作为一个回路，规定回路方向为顺时针旋转方向。在每个回路里，假设一回路电流沿着回路方向流动。将回路和回路电流按顺序编号，后者记作 I_1 、 I_2 、 \dots 、 I_l ，这里 l 是回路数，也是回路电流数。回路法方程形式如下

$$\begin{aligned} R_{11}I_1 + R_{12}I_2 + \dots + R_{1l}I_l &= E_{11} \\ R_{21}I_1 + R_{22}I_2 + \dots + R_{2l}I_l &= E_{22} \\ &\vdots \\ R_{l1}I_1 + R_{l2}I_2 + \dots + R_{ll}I_l &= E_{ll} \end{aligned}$$

式中, R_{kk} = 第 k 个回路中所有电阻之和, $k=1, 2, \dots, l$ 。

$R_{ij} = R_{ji} = (-1) \times$ (第 i 个回路和第 j 个回路共有的电阻), $i \neq j, i=1, 2, \dots, l; j=1, 2, \dots, l$ 。

E_{kk} = 第 k 个回路中所有电动势的代数和, $k=1, 2, \dots, l$ 。以图示电路图为例, 共有三个回路电流, $l=3, R_{11}=r_1+r_2+r_3, R_{22}=r_3+r_4+r_5, R_{33}=r_4+r_2+r_6, R_{12}=R_{21}=-r_3, R_{13}=R_{31}=-r_2, R_{23}=R_{32}=-r_4, E_{11}=E_1, E_{22}=-E_4, E_{33}=E_4-E_6$ 。若所有电动势和所有电阻的值是已知量, 由列出的回路法方程可解出三个回路电流; 再根据支路电流和回路电流的关系可算出全部支路电流。

(肖达川)

huibian chengxu

汇编程序 (assembler) 把汇编语言书写的程序翻译成与之等价的机器语言程序的程序。这里汇编语言写的程序称为源程序, 它作为汇编程序的输入, 经翻译以后, 输出的机器语言的程序称为目标程序。汇编语言是一种面向机器的低级语言, 包含汇编执行指令和伪指令两个基本部分。汇编执行指令是机器指令的符号化表示, 它们基本上保持着一一对应的关系; 伪指令则向汇编程序提供必要的信息, 如用户自定义符号、数据类型、数据空间的长度、目标程序的格式、存放位置安排等。现在许多机器上的汇编程序又吸收了宏加工程序及编译中的技术, 研制出宏汇编程序及高级汇编程序。

由于汇编语言的执行指令与机器指令直接对应, 因而目标程序占用内存空间省, 运行效率高, 可以直接使用计算机系统中各种资源。汇编语言的缺点是可读性差, 维护困难, 由于面向机器致使难以向其他机种移植。它通常用于编写系统的核心程序, 或编写需要耗费大量运行时间和实时性要求较高的程序。

汇编程序按其功能和结构可分为简单汇编程序、模块汇编程序、条件汇编程序、宏汇编程序和高级汇编程序等。

(1) 简单汇编程序。其特点是经它翻译后的机器语言目标程序的地址是绝对的, 可直接放在内存中执行, 也称为“装入并执行”式汇编程序。这种工作方式在内存调度上受到很大限制。

(2) 模块汇编程序。它提供设计、编码和调试不同程序模块的能力, 每个汇编后的程序模块称为目标模块, 它们的地址是相对的, 可用连接装配程序把多个目标模块组成一个可执行的程序。

(3) 条件汇编程序。它具有选择汇编某些程序段的功能。这种汇编程序通常具有“条件转移”等伪指令,

以便用户编写选择条件。

(4) 宏汇编程序。具有宏加工功能的汇编程序。可以用它定义含参数的程序段, 在使用的位置上调用它们, 汇编时将进行宏展开, 把相应的目标代码插在该位置上。

(5) 高级汇编程序。具有控制结构 (如条件语句, 循环语句以至含有函数和过程等) 的汇编程序。它能在保持目标程序质量高的同时, 吸收高级语言的优点, 提高可读性。

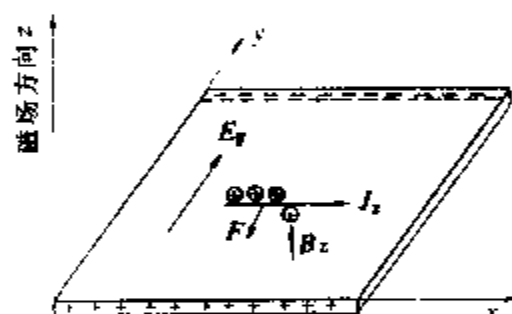
(陈增武)

huo'er qi'an

霍尔器件 (Hall element) 利用霍尔效应制成的固态电子器件。E. H. 霍尔 (E. H. Hall) 于 1879 年发现, 当通以电流的物体置于与电流通过方向垂直的磁场中时, 在垂直于电流和磁场两方向的物体两侧之间将产生一横向电场 (见图)。其电场强度 E_y 与电流密度 J_x 及磁感应强度 B_z 成正比, 可写成

$$E_y = -R_H J_x B_z$$

式中 R_H 称为霍尔系数。其本质是由于载流子在磁场



霍尔效应图示

中运动时受到电磁力 F 的作用而偏移引起横向电流, 导致导体边缘上电荷的积累形成横向电场, 直到此电场对载流子作用力与电磁力 F 平

衡时形成了稳定电荷分布和霍尔电场。显然此电场与载流子所带电荷的符号有关, 若载流子带正电, 则 $R_H > 0$; 若载流子带负电, 则 $R_H < 0$ 。而且 R_H 与载流子的浓度 n 有关, $R_H = \frac{1}{qn}$, 式中 q 为电子的电荷。

霍尔器件的主要用途有: ①霍尔效应可用来判定材料中主要载流子的性质是电子或是空穴, 以及判定在单一载流子情况下载流子的浓度。②在材料特性已知的前提下可以制成器件, 测定磁场强度。③由于在电磁铁中的窄缝磁隙磁感应强度 B 与电磁铁线圈中通入的电流 I_B 成正比, 故霍尔电场强度 E_y 就与 J_x, I_B 的乘积成比例, 因此利用霍尔器件可以制成乘法器。

由于半导体的霍尔系数 R_H 要比导体的大, 故霍尔器件多用锗、硅、砷化镓、锑化铟等 N 型半导体材料制成。霍尔器件的外观不仅可做成简单的矩形, 也可做成十字形、方形等。

(张志清)



JK chufaqi

JK 触发器 (JK flip-flop) 在时钟脉冲有效作用时期内输出新状态取决于 J、K 两个信号输入端状态的触发器。广泛用于时序逻辑电路中, 控制比较方便, 但接线比较复杂。

JK 触发器的逻辑符号如图 1 所示, 其中 J、K 是信号输入端, CP 为时钟信号输入端, Q 和 \bar{Q} 是两个互补输出端, 稳态下 Q 和 \bar{Q} 的逻辑状态相反。S_d 和 R_d 称为异步置位端和异步复位端, 通过在 S_d 或 R_d 端加入低电平信号能直接将触发器置 1 或置 0, 而不受时钟信号和输入信号的影响。

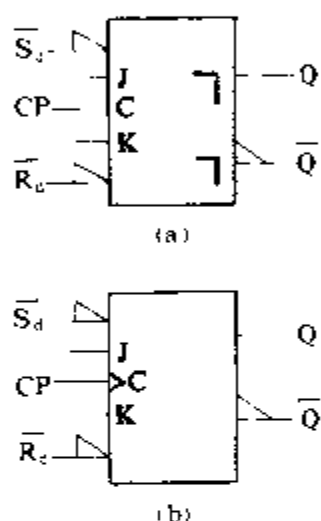


图 1 JK 触发器的逻辑符号

JK 触发器的逻辑功能如表所示。表中用 Q^n 表示触发器原状态 (亦称现态), 用 Q^{n+1} 表示时钟信号到来后触发器的新状态 (亦称次态)。由表可见, 若 J=1, K=0, 则时钟信号到来后 $Q^{n+1}=1$; 若 J=0, K=1, 则时钟信号到达后 $Q^{n+1}=0$; 若 J=K=1, 则时钟信号到达后触发器变成与原来相反的状态 ($Q^{n+1}=\bar{Q}^n$); 若 J=K=0, 则时钟信号到达后触发器的状态不变。

JK 触发器的功能表

J	K	Q^n	Q^{n+1}	J	K	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	1	1	0

JK 触发器的电路结构型式有许多种。在双根型集成电路中, 常见的一种 JK 触发器电路结构如图 2 所示。这是一种边沿触发型结构, 即触发器的次态只取决

于 CP 下降沿到达时刻 J、K 的状态, 而与其他时间 J、

K 的状态无关。只要图中门 D3、D4 的传输延迟时间大于由门 D1、D2 组成的基本 RS 触发器的翻转时间, 就能实现表中规定的逻辑功能。

有时 JK 触发器也采用图 3 所示的主从结构。这个电路由主、从两个时钟 RS 触发器组成, 它们的

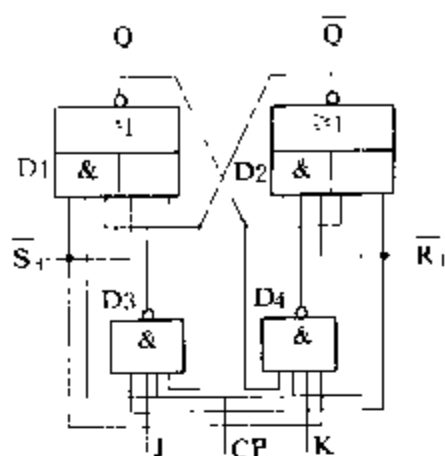


图 2 边沿触发结构的 JK 触发器

时钟信号相位相反。当 CP=1 时主触发器接受 J、K 的输入信号, 从触发器保持状态不变; 当 CP=0 以后主触发器保持状态不变, 从触发器按照主触发器的状态翻转。因为主触发器是时钟 RS 触发器结构, 所以在 CP=1 的全部时间里输入信号都起控制作用, 这种类型的结构称为电平触发型。

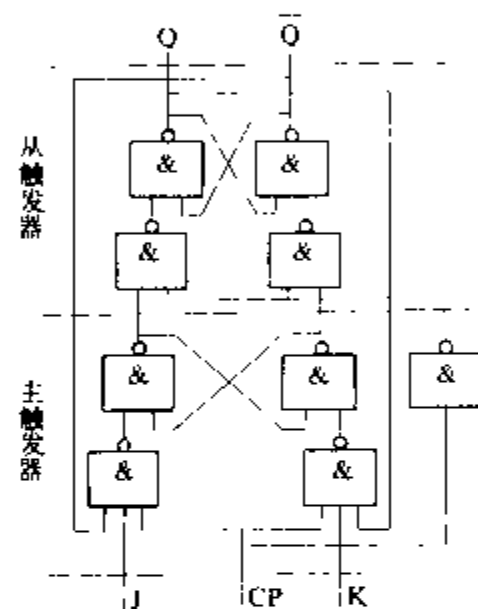


图 3 主从结构的 JK 触发器

(阎石)

jichuan shiyan

击穿试验 (breakdown test) 固体、液体或气体绝缘材料试样在电场作用下发生破坏性放电的试验。有工频击穿试验、直流击穿试验和脉冲击穿试验。试验目的在于测量试样的击穿电压 U_b , 并根据其平均厚度 d 求出其击穿电场强度 E_b 。它是绝缘材料的重要性能指标 (见电气绝缘性能)。通过击穿试验可了解受试绝缘材料在所承受的电场强度下维持绝缘性能的极限能力, 以作为设计绝缘结构、考核绝缘裕度和选用绝缘材料的参考。

击穿电场强度测量原理 测量试样的击穿电压 U_b 与试样击穿点的厚度成平均厚度 d , 用下式求取试样的击穿电场强度或平均击穿电场强度 E_b 。

$$E_b = \frac{U_b}{d} \quad \text{MV/m}$$

(1) 击穿电压测量线路: 图 1 示出工频击穿试验

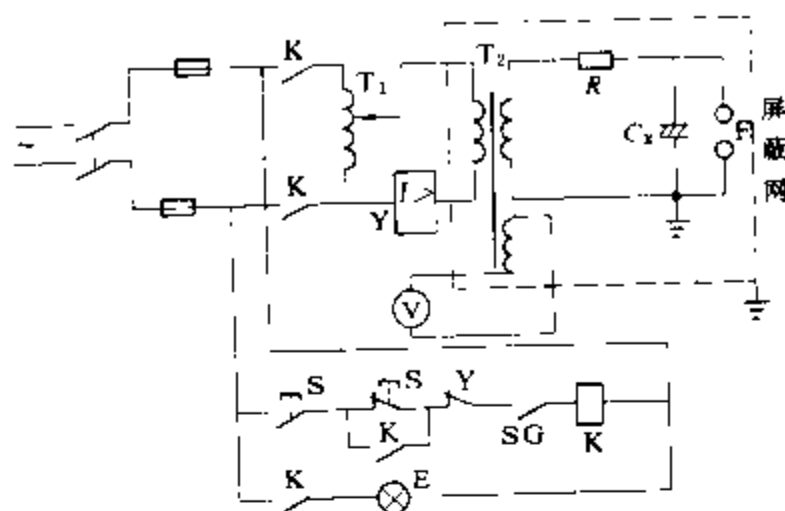


图1 工频击穿试验线路图

T1—调压器；T2—试验变压器；R—保护电阻；Cx—试样；F—测量球隙；E—指示灯；S—按钮；Y—过载释放器；K—继电器线圈；SG—门开关

线路图。图2、图3分别示出直流与脉冲击穿试验试验

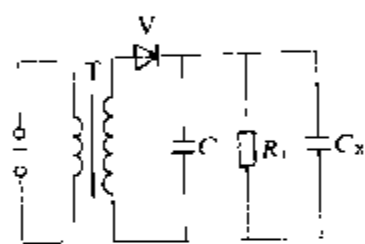


图2 直流击穿试验线路原理图

T—高压试验变压器；V—整流元件；C—滤波电容器；R_L—泄漏电阻；Cx—试样

线路原理图，与工频击穿试验装置一样，直流、脉冲击穿试验装置也应具有调压器、控制线路和防护安全装置。要求较高的试验电压时，直流可用倍压线路，脉冲可用多级脉冲电压发生器。试验前应调节脉冲波形为1.2/40 μs标准波。

(2) 升压方式：有连续升压与逐级升压两种方式。工频与直流击穿试验，二者都可采用，脉冲击穿试验应采用后者。

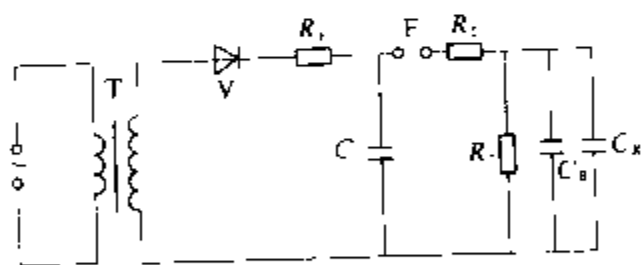


图3 脉冲击穿试验线路原理图

T—高压试验变压器；V—整流元件；R_p—限流电阻；C₁—主电容；F—球隙；R_t—波头电阻；C_a—负载电容；R_L—波尾电阻；Cx—试样

(3) 电压测量：可用静电电压表、测量球隙直接跨接于试样两端测量工频与直流击穿电压。工频击穿电压还可用电压互感器或变压器内的测量线圈测量。脉冲击穿电压采用球隙50%放电法或带有分压器的示波器测量。击穿电压高时，可用分压器。

试样与电极 检查或验收试验用平板或管作试样。研究试验用有球形凹坑的型材作试样。平板试样用

圆柱形或球形电极，管或型材用粘贴金属箔或喷涂金属作电极。

测试技术

(1) 媒质的选择：一般在空气中进行试验。如发生表面飞弧，可在变压器油或六氟化硫中试验。但不同媒质中的试验结果不能相比较。

(2) 击穿的判断：一般用电压突然下降或过电流继电器跳闸来判断。用试样产生小孔、开裂等击穿通道进行判断更为可靠。

(3) 安全措施：击穿装置应有屏蔽网、门开关和信号灯，接地必须可靠。试验完毕，必须用接地棒对高压部位放电。换接试样时，应把接地棒挂在连接试样的高压端。

(4) 试验结果的分析：由于试样的不均匀性及电极、媒质的影响，固体介质的击穿强度试验结果存在一定分散性，所以对试验结果通常采用统计方法加以分析。

(刘耀南)

机器人

(intelligent robot)

一种具有感知和识别能力，能够控制自身行为的多功能机械电子装置。它用工程的方法模拟人的复杂动作和相应的智能行为。机器人是近20年发展起来的一门新学科。它集中机械、电子、计算机、自动控制与人工智能等多学科的研究成果，是当前科学技术发展最活跃的领域之一。

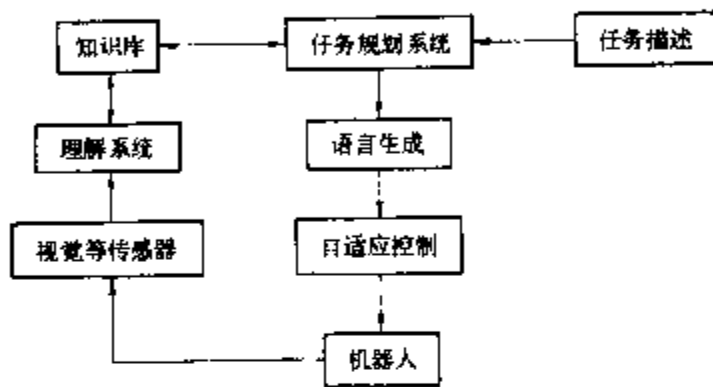
发展过程 20世纪60年代初，美国万向自动公司研制的Unimate机器人，已被公认为一种现代科学技术的典型产物。机器人发展过程一般认为有三代：第一代主要是指以“示教—再现”方式工作的机器人；第二代是指具有感觉的机器人，它通过传感装置获取作业环境和对象等有关信息，通过计算机处理、分析与推理，使它具有有一定的适应能力；第三代是指具有高度适应能力的自治机器人，它具有多种感知功能，可进行复杂的逻辑思维、判断决策，在环境中能独立行动。

分类 机器人按其工作领域及控制方式可分为工业机器人、遥控机器人和智能机器人。

(1) 工业机器人：一种类似于人类上肢功能的多关节机械手。它根据作业要求，用“示教—再现”方式或编程语言方式完成操作。“示教—再现”是操纵者通过“示教装置”引导机器人执行各种操作与运动，记录空同轨迹、作业条件、作业顺序。它能“再现”示教操作和运动，完成预定的作业。编程语言用文件方式描述作业。由于编程语言结构灵活，能为复杂任务提供离线编程数据和控制等功能，因此它是机器人的重要组成部分。

(2) 遥控机器人：它一般用于特殊的作业环境，例如：放射性物质、真空、有毒气体等隔离工作情况；排雷、建筑等危险工作条件；宇宙、海洋开发与探查等工作环境。

(3) 智能机器人：具有与人类某些器官相似功能的装置。它根据任务描述和机器人识别环境的信息，自动规划出完成任务的动作序列。它对环境具有实时识别和处理的能力，动态地建立与修改世界模型，使之有适应环境变化的自治能力。智能机器人一般由以下几部分组成（见图）：①任务规划系统：根据世界模型和任



智能机器人组成

务描述自动寻求控制机器人动作的某种有序组合，把初始的作业状态转变为满足一定条件的目标状态；②理解系统：把视觉等传感器获取的环境特征信息处理成一种明确而有意义的世界模型描述，为任务规划提供知识；③自适应控制：机器人是一个复杂的非线性动力学系统，其负载及惯量随机器人的空间位置和姿态的改变而在大范围内变化，为取得好的动态响应和跟踪精度，采用自动修改参数的控制算法；④语言生成：把规划系统产生的动作序列，自动生成一种而向运动的语言；⑤知识库：存贮描述各种环境、对象、约束条件、规划等结构数据并运用这些数据进行解释与推理。

机器人应用 机器人应用的广度已无所不及，综合起来大致涉及以下领域：①工业生产：一般指焊接、喷漆、装配零件生产等，主要使用的是工业机器人；②危险场合作业：用于核辐射、化学污染、海洋及空间航天飞机等环境，一般以采用遥控机器人为主；③军事

上：一般采用自治式移动机器人以适应环境复杂多变场合，主要用于军事侦察、扫雷等。

(徐毓良)

jixieshi zhishi dianbiao celiang jigou

机械式指示电表测量机构 (measuring mechanisms of electromechanical type indicating meters)

利用电磁或静电效应产生力矩，驱使可动部分运动，带动指针或光点在度盘上偏转的测量机构。主要包括磁电系、电磁系、电动系、静电系等机构。

测量机构包括可动部分与静止部分。驱使可动部分偏转的力矩称为转动力矩 M 。为分辨转动力矩的大小，需要一随偏转角 α 而变化的反抗力矩 M_a 。反抗力矩一般由游丝或张丝提供。可动部分及其所带动的指针，停留在上述两力矩平衡（即 $M=M_a$ ）的位置。

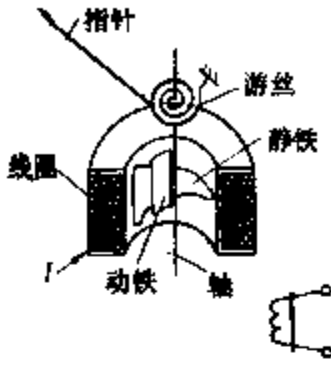
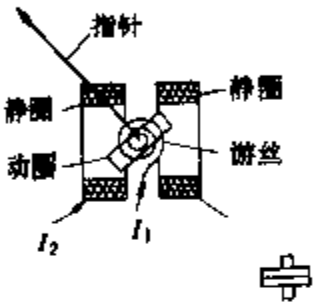
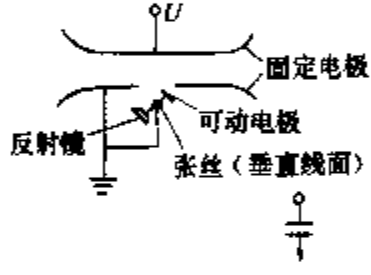
磁电系测量机构 处在气隙磁场中的可动线圈，当通以电流时将产生转动力矩，使线圈带动指针或小镜偏转。电流通过游丝或张丝引入线圈，磁场由永久磁铁提供（见表）。此系测量机构的量测基本量是直流电流，最小达微安级，刻度均匀，主要用于形成直流电流表（见电流表）和直流电压表（见电压表）。

电磁系测量机构 表中所示为排斥式结构。电流 I （直流或交流）通过线圈使静铁与动铁同时磁化，产生以排斥力为主的转动力矩，驱使动铁带动指针偏转。此系测量机构的量测基本量是电流。改变动铁、静铁的形状可控制刻度分布。由于没有电流通过游丝，所以此系机构的过载能力很强。主要用于形成交流电压表，交流电流表，可测最小电流为几十毫安。

电动系测量机构 电流通过静圈产生磁场，使得处在此磁场中的带电流圈受到转动力矩，带动指针偏转（见表）。此系测量机构的量测基本量是动圈电流 I_1 与静圈电流 I_2 的乘积；对于交流，还要乘以此两电流间相角差的余弦。最小测量电流为几十毫安。主要用于形成直流或交流电流表、电压表、功率表（见功率表）。如设置铁磁材料的磁路，称做铁磁电动系机构。

各系机械式指示电表测量机构

测量原理	机械式指示电表	测量原理	测量原理	测量原理	测量原理
磁电系		直流电	$M=K I$ ，式中 I 为通过线圈的电流， K 为与线圈匝数、尺寸及气隙磁通密度有关的常数	电磁系	$M=K I_1 I_2$ ，式中 I_1 为通过线圈的电流， I_2 为通过静圈的电流， K 为与线圈匝数、尺寸及气隙磁通密度有关的常数

电磁系		直流或交流有效值电流	$M=KI^2$, 式中 I 为通过线圈的电流; K 为与静、动铁形状及相互位置有关的系数	由游丝或张丝提供 $M_s=K_s\alpha$, 式中 α 为指针偏转角; K_s 为游丝常数	形成交流电流表、电压表
电动系		两直流电流或两交流电流及其同相角的余弦此三者的乘积	$M=KI_1I_2\cos\varphi$, 式中 I_1 为通过动圈的电流; I_2 为通过静圈的电流; K 为与线圈匝数尺寸及相对位置有关的系数; φ 为 I_1 、 I_2 间的相位差角	由游丝或张丝提供 $M_s=K_s\alpha$, 式中 α 为指针偏转角; K_s 为游丝常数	形成直流或交流电流表、电压表、功率表
静电系		直流或交流电压	$M=KU^2$, 式中 U 为加在两电极间的电压; K 为与电极形状、结构有关的系数	由游丝或张丝提供 $M_s=K_s\alpha$, 式中 α 为指针偏转角; K_s 为游丝常数	形成直流或交流电压表

静电系测量机构 加在可动电极与固定电极之间的电压 U , 使可动电极受力发生偏转 (见表)。此系测量机构的量测基本量是直流或交流电压。主要用于测电压, 根据结构的不同, 所测电压最高达几百千伏, 最低为几十伏。

(唐统一)

积分器

积分器 (integrator) 把运算放大器接成能实现输出电压与输入电压对时间的积分成正比的放大器。它广泛用于波形变换、延时等环节中, 它是信号处理系统中的重要单元电路。

工作原理 图 1 为基本的积分单元电路。设运算放大器 (简称运放) A 为理想元件, 因其同相输入端接地, 故反相输入端为“虚地”点 (见加法器), 因运放为理想元件, 故 b_1 与 b_2 间为“虚断”。按“虚断”的概念, 流过 R 的电流等于流过 C 的电流, 即 $I_i=I_c$; 按“虚地”的概念得 $I_i=\frac{u_i}{R}=I_c$ 。放输出电压即电容 C 两端的电压为

$$u_o = -\frac{1}{C} \int_0^t I_c dt + u_c|_{t=0} \quad (1)$$

式中 $u_c|_{t=0}$ 为 $t=0$ 时电容 C 两端的起始电压。若 $u_c|_{t=0}$ 为零, 则式 (1) 变为

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_i dt \quad (2)$$

可见输出电压与输入电压对时间的积分成正比关系但冠以负号。式 (2) 中 RC 称为积分时间常数 τ ; $\frac{1}{RC}$ 又称为积分增益。

设图 1 中 $R=10k\Omega$, $C=0.1\mu F$; 若在 $t=0$ 时刻,

u_i 突然由零跃变到 $-1V$, 运放 A 的输出端接一个电压继电器, 它的动作电压为 $5V$, 则电压继电器启动的时刻可求得如下: 将 $u_i=-1V$, $u_o=5V$ 代入式 (2) 得 $t=5ms$, 即电压继电器在阶跃电压发生突变后延迟 $5ms$ 启动。

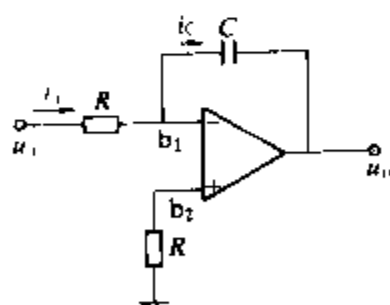


图 1 基本积分放大电路

u_i 和 u_o 的波形如图 2 所示。

若 u_i 为方波如图 3 (a) 所示, 且 R 、 C 之值同上, 则输出电压 u_o 的波形如图 3 (b) 所示, 可见, 积分器将输入方波信号变换成了三角波。

图1所示电路的电压放大倍数为： $\frac{u_o}{u_i} = -\frac{1}{sCR} = -\frac{1}{sCR}$ ，式中 s 为运算子。其幅频特性（见放大电路）为

$$\frac{u_o}{u_i} = -\frac{1}{j\omega CR}$$

其绝对值为 $\left| \frac{u_o}{u_i} \right| = \left| \frac{1}{2\pi fCR} \right|$ (3)

按式(3)可画出其幅频特性的伯德图，如图4所示。横坐标的标尺为频率 f 的常用对数，纵坐标的标尺为电压放大倍数 $\frac{u_o}{u_i}$ 的分贝(dB)，又称电压增益。由式(3)可知：当 $f = \frac{1}{2\pi CR}$ 时，电压放大倍数 $\frac{u_o}{u_i} = 1$ ；也就是说，当 $f = \frac{1}{2\pi CR}$ 时，电压增益 $20 \lg \frac{u_o}{u_i} = 0 \text{ dB}$ 。由式(3)还可看到：当 $f \rightarrow 0$ 时，电压放大倍数 $\frac{u_o}{u_i} \rightarrow \infty$ ；也就是说：当 $f \rightarrow 0$ 时，电压增益 $20 \lg \frac{u_o}{u_i} \rightarrow \infty \text{ dB}$ 。

图2 积分器输入阶跃电压时的波形图
(a) 输入阶跃电压 u_i ；
(b) 输出电压 u_o 。

式(2)和式(3)是在假设运放和所有元件均为理想条件下得到的，实际上，理想元件是不存在的；例如，电容 C 两端的绝缘电阻不可能为无穷大；这样，就有一个很高的电阻 R_1 和电容 C 并联，如图5所示。于是反馈支路的阻抗为 $Z = \frac{1}{sC} // R_1$ ，式中 $//$ 为阻抗并联符号。电压放大倍数为

$$\frac{u_o}{u_i} = -\frac{Z}{R} = -\frac{\frac{R_1}{R}}{1 + sCR_1} \quad (4)$$

图3 积分器将方波变换为三角波
(a) 输入方波 u_i ；(b) 输出三角波 u_o 。

性为

$$\frac{u_o}{u_i} = -\frac{\frac{R_1}{R}}{1 + j2\pi fCR_1} \quad (5)$$

由式5可见：当 $f=0$ 时，即直流状态时，其电压放大倍数为 $\frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_1}{R}$ 即存在一定的比例放大作用，其电压增益为： $20 \lg \frac{R_1}{R}$ 。式(5)可看作由两个环节组成，即

$$\frac{u_o}{u_i} = -\left(\frac{R_1}{R} \right) \left(\frac{1}{1 + j2\pi fCR_1} \right)$$

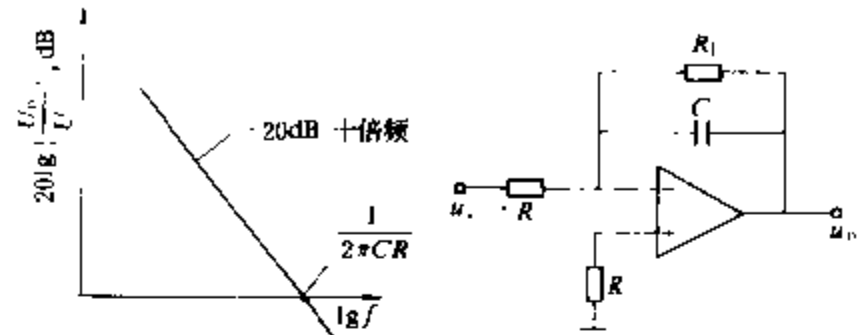


图4 图1电路的幅频特性伯德图

图5 电容两端存在有限绝缘电阻 R_1 时的积分放大电路

电压增益为

$$20 \lg \left| \frac{u_o}{u_i} \right| = 20 \lg \frac{R_1}{R} + 20 \lg \left| \frac{1}{1 + j2\pi fCR_1} \right| \quad (6)$$

式(6)右边第二项代表低通滤波器传递函数的幅频特性，当 $f=0$ 时，其电压增益

$$20 \lg \left| \frac{1}{1 + j2\pi fCR_1} \right| = 0 \text{ dB}; \text{ 当 } f = \frac{1}{2\pi CR_1}$$

时，其电压增益

$$20 \lg \left| \frac{1}{1 + j2\pi fCR_1} \right| = 20 \lg \frac{1}{\sqrt{2}} = -3 \text{ dB}, f = \frac{1}{2\pi CR_1} = f_b$$

又称低通滤波器的上限截止频率。由式(6)还可得：当电压增益 $20 \lg \left| \frac{u_o}{u_i} \right| = 0 \text{ dB}$ 时，可得 $\frac{R_1}{R} = \sqrt{1 + (2\pi fCR_1)^2}$ ，即 $f = \frac{\sqrt{\left(\frac{R_1}{R}\right)^2 - 1}}{2\pi CR_1}$ 如图6中的H点所示。放式(6)所示的幅频特性如图6所示。

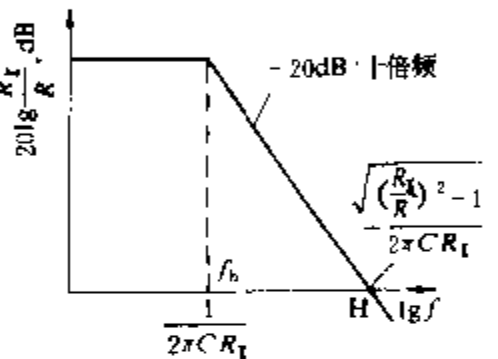


图6 图5电路的幅频特性伯德图

(何金茂)

jiben geji juzhen

基本割集矩阵 (fundamental cut-set matrix) 见网络图论。

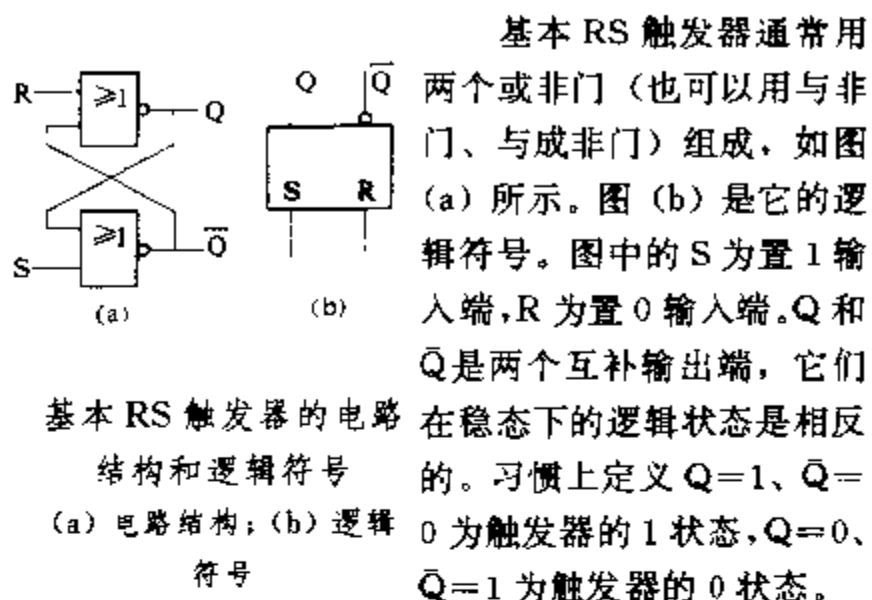
jiben huilu juzhen

基本回路矩阵 (fundamental loop matrix) 见网络图论。

jiben RS chufaqi

基本RS触发器 (set-reset latch) 有两个稳定状态、无需时钟脉冲的配合就能对输入信号进

行接收、保持和输出的逻辑电路。它是静态触发器中最简单的电路结构型式,又是形成较复杂电路结构、功能更完善的触发器的基础。



基本 RS 触发器的功能表

S	R	Q^n	Q^{n+1}	S	R	Q^n	Q^{n+1}
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	1	0	不定
1	0	1	1	1	1	1	不定

上表是表示电路输出状态与输入信号之间逻辑关系的功能表。表中以 Q^n 表示触发器原来的状态(亦称现态),以 Q^{n+1} 表示输入信号作用后触发器的新状态(亦称次态)。该表说明,当 $S=R=0$ 时,触发器保持原状态不变;当 $S=1$ 、 $R=0$ 时,不论原状态如何,触发器均被置成 1 状态;当 $S=0$ 、 $R=1$,不论原状态如何,触发器均被置成 0 状态;当 $S=R=1$ 时,在输入信号消失后触发器的状态无法确定,所以应避免出现 $S=R=1$ 的输入情况。

(阎石)

jibao dianliu

基波电流 (fundamental current) 将非正弦周期性电流函数按傅里叶级数展开时,序数为 1 的分量,即和原周期电流同频率的正弦电流分量。

见非正弦周期电流电路。

(陈允康)

Ji'erhuofu dinglu

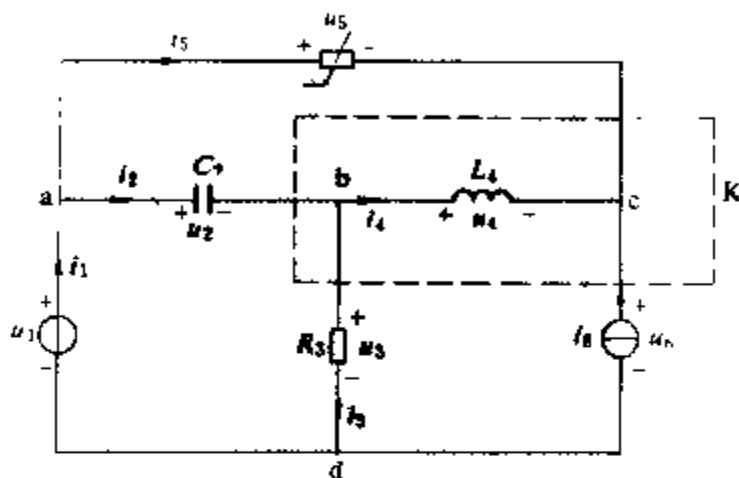
基尔霍夫定律 (Kirchhoff's Laws) 表明集总参数电路中有关支路电流之间以及有关支路电压之间约束关系的定律。1845 年由德国人 G. R. 基尔霍夫 (G. R. Kirchhoff) 提出,包括两条定律。基尔霍夫第一定律又称基尔霍夫电流定律 (KCL),其内容为:对于任一集总参数电路(见电路)中的任一节点或割集

(见网络图论),在任一时刻,通过该节点或割集的所有支路电流的代数和等于零。例如在图示电路中,对节点 a,如以离开节点电流为正,则有

$$-i_1 + i_2 + i_5 = 0$$

对割集 K,如以离开图中虚线所示封闭面的电流为正,则有

$$-i_5 - i_2 + i_3 - i_6 = 0$$



电路图

基尔霍夫第二定律又称基尔霍夫电压定律 (KVL),其内容为:对任一集总参数电路中的任一网孔成回路,在任一时刻,沿着该网孔成该回路的所有支路电压的代数和等于零。例如在图示电路中,沿两孔 acba,则有

$$u_5 - u_4 - u_2 = 0$$

沿回路 acbda,则有

$$u_5 - u_4 + u_3 - u_1 = 0$$

基尔霍夫定律与元件的性质无关,它们表明电路中各支路电流间的约束关系和各支路电压间的约束关系。基尔霍夫定律也蕴含电路的功率守恒(见特勒根定理)。

对在电力工程中大量遇到的交流电路(见电路)来说,如果支路电流用相量表示,则基尔霍夫电流定律可表为

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0$$

式中 \dot{I}_k 为汇集于某节点的第 k 条支路电流的有效值相量;n 为汇集于该节点的支路的总数。如果支路电压用相量表示,则基尔霍夫电压定律可表示为

$$\sum_{k=1}^n \dot{U}_k = 0$$

式中 \dot{U}_k 为两孔或回路中第 k 条支路电压的有效值相量;n 为该网孔成回路中支路的总数。

(李瀚荪)

jibian gongliu

畸变功率 (distortion power) 周期非正

弦电流、电压波形情况下为满足功率关系式而引入的附加功率。将电路元件的电流和电压的周期非正弦波形分别分解成傅里叶级数，而且将直流分量和基波分别当作零次和一次谐波看待。设 U_n 和 I_n 分别是第 n 次谐波电压和电流的有效值， φ_n 是第 n 次谐波电流滞后于第 n 次谐波电压的相角差，并规定 $\varphi_0=0$ ，则有有功功率 P 为 $P = \sum_{n=0,1,2,\dots} U_n I_n \cos \varphi_n$ ；无功功率 Q_f 为 $Q_f =$

$\sum_{n=1,2,\dots} U_n I_n \sin \varphi_n$ ；视在功率 S 为 $S = \sqrt{\sum_{n=0,1,2,\dots} U_n^2 \cdot \sum_{n=0,1,2,\dots} I_n^2}$ 。由于 $S^2 \neq P^2 + Q_f^2$ ，于是引入畸变功率 D 使得满足 $S^2 = P^2 + Q_f^2 + D^2$ ，则

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_f^2}$$

(孙树勤)

ji

激励 (excitation) 作用于某个系统的、其随时间的变化规律不依赖于系统结构和系统参数的物理量。在电路理论里，激励常指独立电压源的电压和独立电流源的电流。它们随时间变化的规律(例如独立电压源的电压随时间作正弦变化)，不依赖于电路中其他元件和元件间的连接方式。在自动控制理论里，系统的输入就是激励。

(肖达川)

ji

激励 (excitation) 原子分子在接收外界能量后，从最低能量状态的基态跃迁到较高能量状态的激励态的过程。在原子或分子中，各种激励态所具有的能量只能是确定的分立的数值。为激励原子分子所吸收的能量也具有分立的数值，它们称为激励能或激励电位，单位相应用电子伏特(eV)或伏特(V)表示。

激励是由入射的光子、电子、中性原子分子、带电粒子与原于或分子之间的相互碰撞造成的。产生激励的碰撞概率用激励截面来表示，单位为平方米(m^2)。

激励态是不稳定的，可在 $10^{-8}s$ 后自发地转移到较低的能级上，并发射出具有相应能量差的光量子，其光谱范围可以从可见光到X射线。这个过程称为去激励。去激励的结果要产生光辐射，这对气体的电离和放电发展均有重要作用。某些原子具有寿命可达 $10^{-4} \sim 10^{-2}s$ 的激励态，称为亚稳态。因亚稳态存在时间较长，它和电子等碰撞后，容易产生碰撞电离。

(罗承沐)

jidian

极点 (pole) 见传递函数。

jidian peizhi

极点配置 (pole assignment) 选用适当的反馈，使定常线性系统的闭环极点处于期望的位置。一个系统的性能和它的极点在复平面上的位置密切相关，因此极点配置问题在系统设计中很重要。在经典控制理论和现代控制理论中，反馈都是系统设计的主要内容。经典控制理论对系统作输入-输出描述，只能以输出量作反馈，并利用串联、并联补偿装置及调整开环增益使系统具有期望的闭环极点位置。现代控制理论用系统内部的状态变量来描述系统，除了也可以用输出反馈作极点配置而外，还可以用效果更好的全状态反馈。

采用状态反馈使闭环极点配置在任意位置上的充要条件是：受控对象可控。

果用输出反馈使闭环极点配置在任意位置上的充要条件是：受控对象可控、可观测。

(于 勃)

jixianhuan

极限环 (limit cycle) 见相平面法。

jixiaozhi yuanli

极小值原理 (minimum principle) 控制向量 $u(t)$ 受限制的情况下，使哈密顿函数取极小，求解最优控制问题的原理和方法，又称极大值原理。

在用古典变分法求解最优控制问题时，假定控制向量 $u(t)$ 不受任何限制，即容许控制集合可以看成整个 p 维控制空间，这时控制变分 δu 可以任取。同时还严格要求哈密顿函数 H 对 u 连续可微。在这种情况下，应用变分法求解最优控制问题是有效的。但是，实际工程问题中，控制变量往往受到一定限制，容许控制集合是一个 p 维有界闭集。这时，控制变分 δu 在容许集合边界上就不能任意选取，最优控制的必要条件 $\partial H / \partial u = 0$ 就得不到满足。若最优控制解落在控制集的边界上(例如最短时间控制问题)，一般便不满足 $\partial H / \partial u = 0$ ，就不能再用古典变分法来求解最优控制问题。

极小值原理是在20世纪50年代由苏联学者庞特里雅金(Л. С. Понтрягин)提出的，它的结果与古典变分法极为近似。但它克服了古典变分法的局限性，适用范围扩大了。原先提出时，称为“极大值原理”；现在有些文献中也这样称，两者是一致的，因为一个函数的极小与其反号函数的极大是相同的。

连续系统的极小值原理 系统的状态方程为

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), t]$$

式中 $x(t)$ 为 n 维状态向量; $u(t)$ 为 p 维控制向量。边界条件可以固定、自由或受轨线约束, 控制向量 $u(t)$ 属于 p 维有界闭集 U , 即

$$u(t) \in U \subset R^p$$

性能指标为

$$J = h[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} g[x(t), u(t), t] dt$$

则使性能指标 J 达到极小的最优控制 $u^*(t)$ 及最优状态轨线 $x^*(t)$ 必须满足以下条件:

(1) 满足正则方程

$$\begin{aligned} \dot{x}^*(t) &= \partial H / \partial \lambda \\ \dot{\lambda}^*(t) &= - \partial H / \partial x \end{aligned}$$

式中 H 为哈密顿函数, $H(x, u, \lambda, t) = g(x, u, t) + \lambda^T f(x, u, t)$; λ 为共态向量。

(2) 对应于最优控制时, 哈密顿函数为极小值, 即

$$\begin{aligned} \min_{u \in U} H[x^*(t), u(t), \lambda^*(t), t] \\ = H[x^*(t), u^*(t), \lambda^*(t), t] \end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned} H[x^*(t), u^*(t), \lambda^*(t), t] \\ \leq H[x^*(t), u(t), \lambda^*(t), t] \end{aligned}$$

当 $u(t)$ 不受边界限制时, 则上式与 $\partial H / \partial u|_{u^*} = 0$ 等效。

(3) 根据不同的边界情况, $x^*(t)$ 与 $u^*(t)$ 满足相应的边界条件及横截条件, 见变分法。

离散系统的极小值原理 系统的状态方程为

$$\begin{aligned} x(k+1) &= f[x(k), u(k), k]; \\ k &= 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned}$$

式中 $x(k)$ 为 n 维状态向量; $u(k)$ 为 p 维控制向量; k 为步数; N 为总步数。设初始状态 $x(0) = x_0$, 终端状态 $x(N)$ 自由。控制向量受限制, 即

$$u(k) \in U \subset R^p$$

性能指标为

$$J = h[x(N), N] + \sum_{k=0}^{N-1} g[x(k), u(k), k]$$

要求寻找最优控制序列 $u^*(k)$, 使性能指标 J 为极小。

作哈密顿函数

$$\begin{aligned} H[x(k), u(k), \lambda(k+1), k] &= g[x(k), u(k), k] \\ &+ \lambda^T(k+1) f[x(k), u(k), k] \end{aligned}$$

使 J 达极小的最优控制必须满足以下条件:

(1) 满足正则方程

$$\begin{aligned} x^*(k+1) &= \frac{\partial H[x^*(k), u^*(k), \lambda^*(k+1), k]}{\partial x(k+1)} \\ &= f[x^*(k), u^*(k), k] \end{aligned}$$

$$\lambda^*(k) = \frac{\partial H[x^*(k), u^*(k), \lambda^*(k+1), k]}{\partial \lambda(k)}$$

(2) 对应于最优控制时, 哈密顿函数达极小值, 即

$$\begin{aligned} H[x^*(k), u^*(k), \lambda^*(k+1), k] \\ \leq H[x^*(k), u(k), \lambda^*(k+1), k] \end{aligned}$$

(3) $x^*(0)$ 及 $\lambda^*(N)$ 满足以下边界条件及横截条件

$$x^*(0) = x_0, \lambda^*(N) = \frac{\partial h[x^*(N), N]}{\partial x(N)}$$

对不同的边界情况, 需选取相应的边界条件及横截条件, 条件 (1)、(2) 不变。当控制向量不受限制时, 则条件 (2) 与下列控制方程等效

$$\frac{\partial H[x^*(k), u^*(k), \lambda^*(k+1), k]}{\partial u(k)} = 0$$

(于 勃)

jicheng chufaqi

集成触发器 (integrated flip-flop) 集

成电路中能随机存、取数据的一种存储单元电路。它可以存储一位二值代码或数码。集成触发器的系列产品有许多种, 可供用户直接选用。

触发器的基本特点 为了能记忆一位二值代码, 同时能随机存、取, 所有的触发器必须具备以下特点:

(1) 有两个能自行保持的稳定状态, 分别表示逻辑状态的 1 和 0, 或二进制数的 1 和 0。

(2) 能够按照输入信号的不同被置成 1 或 0 状态, 而且在输入信号消失以后, 能把获得的新状态保持下来。

触发器的分类 有多种分类方法。主要的有:

(1) 根据触发器的状态能否长时间保存, 可分为动态触发器和静态触发器。动态触发器多用 MOS 管组成, 因为它利用 MOS 管栅极电容 (栅极与源极之间的电容) 上的存储电荷记存信息, 因而信号不能长久保存。为了不使信号丢失, 必须定期地给栅极电容补充电荷。这种补充电荷的操作称为“刷新”或“重写”。静态触发器则是靠电路的自锁功能保持状态的, 不受时间的影响, 故可长期保持。

(2) 根据输入信号的给出方式及触发器状态随输入信号变化规则的不同, 触发器按逻辑功能可分为 RS 触发器、D 触发器、JK 触发器、T 触发器等。

(3) 根据电路结构型式不同, 触发器可分为基本 RS 触发器、时钟 RS 触发器、主从触发器、维持阻塞触发器等。有时还将它们再划分为电平触发型和边沿触发型两类。在边沿触发型触发器电路中, 触发器的新状态仅仅取决于时钟信号动作沿到达时输入信号的状态; 而在电平触发型触发器电路中, 在时钟信号的整个作用时间里输入信号对触发器的新状态都将发

生影响。

(4)根据采用工艺的不同,集成触发器可分成双极型触发器和场效应管触发器两大类型。

(阎石)

jicheng danwentao chufaqi

集成单稳态触发器 (integrated monostable multivibrator) 在外界触发信号作用下能产生一定宽度输出脉冲的一种单片集成电路。集成单稳态触发器具有使用简便,输出脉冲调节范围宽等优点。通常在使用时只需外接一个电阻和一个电容即可。通过改变电阻、电容的大小,可以获得数十纳秒至数秒宽度的输出脉冲。

集成单稳态触发器在工作时只有一个稳定状态,仅在外界触发脉冲的作用下,才进入另一个暂稳态,经过一段时间以后,电路便自行返回稳态。暂稳态的持续时间(亦即输出脉冲的宽度)由外接电阻、电容的数值决定,与触发脉冲的宽度无关。

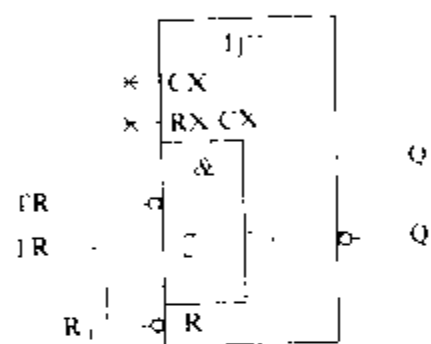


图1 集成单稳态触发器的符号和连接方法

图1示出了单稳态触发器的符号和连接方式,表中给出了它的功能。其中Q、 \bar{Q} 是两个互补输出端,它们的相位始终相反。表中的

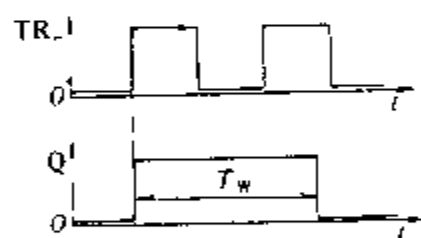


图2 非重触发单稳态触发器的工作波形

由TR-输入。RX和CX是外接的电阻和电容。 \bar{R}_1 为复位端,通过在 \bar{R}_1 端加入低电平信号可以立即使电路从暂稳态返回稳态($Q=0, \bar{Q}=1$)。

集成单稳态触发器的功能表

\bar{R}_1	TR+	TR-	Q	\bar{Q}	说明
0	x	x	0	1	强制复位
x	0	x	0	1	低电平触发
x	x	1	0	1	高电平触发

集成单稳态触发器产品中有“非重触发”和“可重触发”两种类型。它们的引出端设置以及外部连接方式

没有区别,但工作特性上有些差异。在非重触发单稳态

触发器中,电路一经触发而进入暂稳态以后,再加入触发信号对电路的状态不发生影响,必须等到电路返回稳态以后,才可能再次触发,如图2所示。在可重触发单

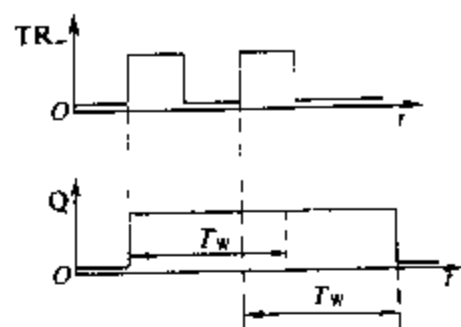


图3 可重触发单稳态触发器的工作波形

稳态触发器中,如果在电路处于暂稳态期间再加入触发信号,则暂稳态的持续时间将被延长,而且延长的时间等于每次单独触发时暂稳态的持续时间 T_w ,如图3所示。

集成单稳态触发器的缺点是输出脉冲宽度的稳定性稍差,易受电源电压波动和环境温度变化的影响。

(阎石)

jicheng dianlu

集成电路 (integrated circuit) 将若干电路元件不可分离地连在一起,并在电气上互连,以致对于制定技术条件、试验、使用和维护来说,都可视为不可分割的一种电路。它具有可靠性高、寿命长、耗能低、体积小、重量轻、价格便宜、便于批量生产等优点。广泛应用于广播、电视、电子仪器、电子计算机、电力系统继电保护装置、测量设备和遥控装置等。

分类 按集成方法不同,集成电路可分为单片集成电路和混合集成电路。单片集成电路是用一块半导体单晶片制成的。集成电路常用的半导体材料是硅(Si)或化合物半导体如砷化镓(GaAs)等。混合集成电路是指单片集成电路和分立元件、器件混合而成。采用薄膜技术混合的,称为薄膜电路;采用厚膜技术混合的,称为厚膜电路。按所用晶体管结构、电路和工艺不同,集成电路可分为双极型集成电路和金属—氧化物—半导体(MOS)集成电路。前者的主要器件是双极型晶体管,后者的主要器件是MOS场效应管(见绝缘栅场效应晶体管)。集成电路按其所处理信息的不同,又可分为数字集成电路和模拟集成电路(也称线性集成电路)。它们各自又有不同的分类。按电路复杂程度不同,集成电路可根据集成规模的大小分为小规模(集成度小于10个门电路或集成元件数小于100个元件)、中规模(集成度在10~100个门电路之间或集成元件数在100~1000个元件之间的)、大规模(集成度在100个门电路以上或集成元件数在1000个元件以上)和超大规模集成电路(集成度达1万个门电路或集成元件在10万个以上的)。大规模和

超大规模集成电路一般以功能部件、整机、子系统为集成对象。

集成电路发展简史 20 世纪 50 年代末美国开始研制微型组件,即将二极管、晶体管微成微型芝麻管和微型电阻、电容装配到一片片陶瓷基片上,然后再叠成立体结构,实现某种功能的电路组件。同时还尝试用半导体材料制作集成相移振荡器和数字集成触发器。当时人们将这种电路称为固体组件。如美国仙童 (Fairchild) 公司利用 PN 结隔离技术,以平面工艺制作硅集成电路,并在氧化膜上制作互连线,这样奠定了半导体集成电路的基础,然后单片集成电路才真正实现。

60 年代末集成电路进入了大规模阶段,因为 MOS 型集成电路比双极型集成电路更适合大规模和超大规模集成。从此 MOS 型集成电路得到迅速发展。到 70 年代末美国英特尔 (Intel) 公司首先提出随机逻辑大规模集成电路,从而为计算机微型化创造了条件,集成电路开始进入电子系统集成阶段。

模拟集成电路对电阻、电容等元件要求较高,而且与电路性能关系密切,所以它在模拟信号处理方面的应用要比在数字逻辑信号处理方面的应用来得晚,如集成运算放大器在 60 年代初期才进入市场。从目前情况看,在集成规模上,模拟集成电路还远比不上数字集成电路。但随着工艺的进步,电路设计技术的提高,模拟集成电路也在迅速发展,已有中、大规模的产品。

随着社会各领域对集成电路的品种、数量和功能不断提出新的要求,今后继续研制通用型集成电路的同时,专用集成电路将会迅速发展,并趋向于形成模拟和数字混合的系统或子系统。

(叶德敏)

jicheng luoji mendianlu

集成逻辑门电路 (integrated logic gate circuits) 将全部电路的元、器件及其连线集成于同一半导体基片上的逻辑门电路。集成逻辑门电路经过一个发展的历程,分为两大类:一为由双极型管组成的双极型集成门;另一为 MOS 管组成的单极型集成门,亦称 MOS 集成门。这两大类各有所长,而且在继续发展。

双极型集成门的主要型式为晶体管——晶体管逻辑门 (TTL),它应用广泛,具有代表性。

衡量集成逻辑门的优劣有各种指标,例如外部特性的好坏,制造过程的难易,生产成本的高低,以及可靠性程度等等。对使用者来说,为了保证数字系统很好地工作,必须充分了解它们在性能方面能够达到的实际指标。这些性能指标主要有:①逻辑电平和抗干扰能

力;②动态响应特性 (开关速度);③负载能力;④功耗等。

(汤之璋)

jicheng wenyadkuai

集成稳压块 (integrated voltage stabilizer)

将稳压电路及其保护电路中的元、器件和互连线集成在同一硅片上,使它的输出电压能保持恒定的电路。

集成稳压块按内部电路工作方式的不同可分为:串联型稳压块 (绝大多数集成稳压块是这种类型),高精度电压基准功能块和开关型稳压块 (见开关稳压电路)。按输出电压能否调节可分为:输出电压固定的稳压块和输出电压可调的稳压块。按输出电压极性的不同可分为:正输出电压稳压块和负输出电压稳压块。按稳压块引出端子数目的不同可分为:多端 (引出端子数多于 3 的统称为多端) 稳压块和三端稳压块。

三端输出电压固定式稳压块 这种稳压块只有输入端、输出端和公共端三个引出端子。在输入端加上厂家规定的电压,在输出端就能获得所要求的稳定电压。这类稳压块内部有健全的保护电路,安全可靠,稳定性好,价格低廉,因而得到广泛的应用,已基本上取代了由分立元件组成的稳压电路。

图 1(a) 所示为三端输出电压固定式稳压块 (W7800 系列) 的内部结构方框图,图 1(b) 为其外形图。

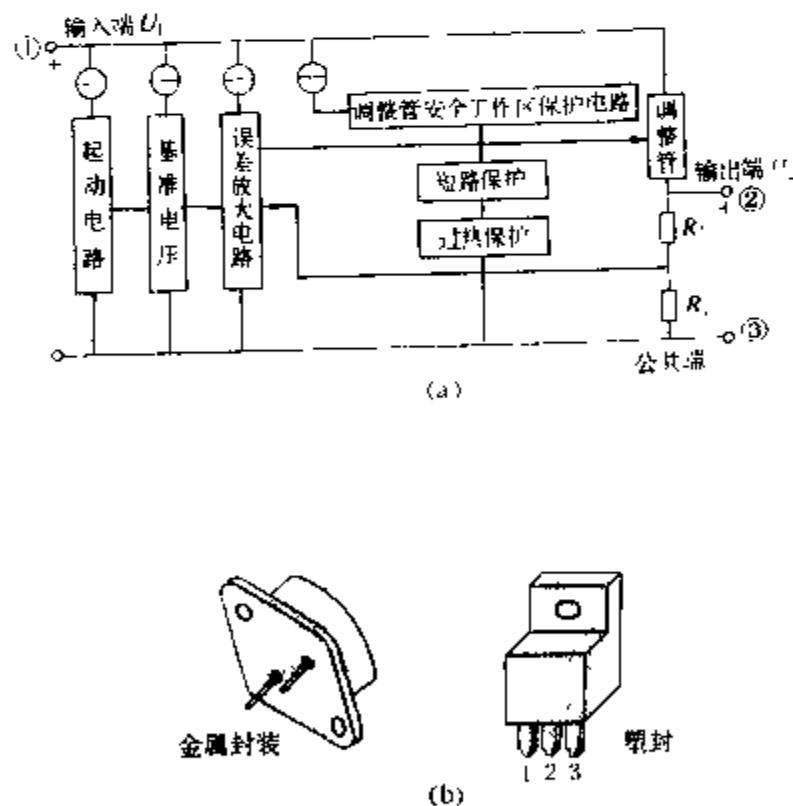


图 1 三端输出电压固定式稳压块

(a) 内部结构方框图; (b) 外形图

三端输出电压固定式稳压块有输出为正电压和输出为负电压两种。此外,利用它还可组成恒流源电路和

输出电压可调稳压器等多种应用电路。

三端输出电压可调式稳压块 虽然输出电压固定



图 2 三端输出电压可调式稳压块
内部结构方框图

式稳压块也可通过外接一些元件, 对其输出电压进行调节, 但由于此时其静态电流 I_Q 和 I_Q 随输入电压的

三种集成稳压块比较表

项 目 类 型	稳压性能 精 度	保护和 可靠性	使用难易	电源效率	灵活程度	价格
多端可调式	高	一 般	较 繁	一 般	灵 活	低
三端固定式	一 般	较 好	简 单	一 般	一 般	低
三端可调式	较 高	较 好	一 般	较 低	灵活方便	一般

变化量 ΔI_Q 值均很大, 会影响输出电压的稳定性。

三端输出电压可调式稳压块 (W117 系列) 内部结构方框图如图 2 所示。它和图 1(a) 所示电路不同之处在于: 它将误差放大器、偏置电路恒流源等的接地端改接到输出端, 使它们在输入、输出的差值电压下工作, 于是它们所消耗的电流都从输出端流出。由于没有接地端, 它内部的基准电压 (约 1.25 V) 相当于接在误差放大器的同相端和稳压块的调整端之间, 并由一个恒流特性十分好的超级恒流源 (约 50 μ A) 供电。该恒定电流从调整端流出。由于 W117 的静态电流 I_Q 及 I_Q 的变化量 ΔI_Q 比 W7800 小得多, 因此用它来组成三端输出电压可调式稳压块时, 其稳压性能要好得多。当调整端接地时, 它就是一个输出电压为 1.25 V 的输出电压固定式三端稳压块。W117 内部放大器和偏置电路

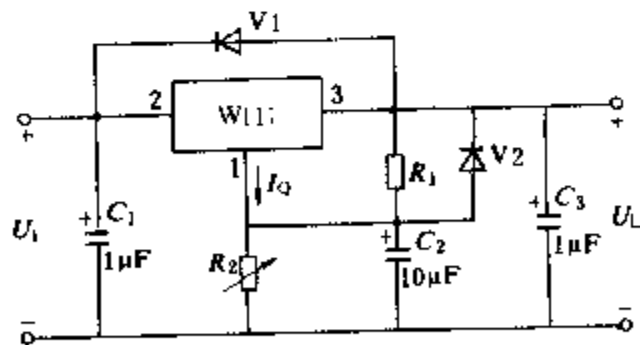


图 3 W117 的基本应用电路图

能在 2~40 V 范围内工作。因此 W117 系列可实现输出电压 1.25~37 V 连续可调, 且最大输出电流可达

1.5 A。同类产品还有三端输出负压可调式稳压块。

W117 的基本应用电路如图 3 所示。图中 R_1 的阻值应按 $\frac{1.25 \text{ V}}{R_1} \geq 100 I_Q = 5 \text{ mA}$ 的原则选取, 这样电流 I_Q 的影响就可忽略不计。W117 的输出电压为 $U_L = 1.25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$ 。改变电阻 R_2 值, 就可改变稳压输出 U_L 值。电阻 R_1 、 R_2 应选温度特性比较一致的同类型的电阻。电容 C_2 是为消除电阻 R_2 上的纹波而设置的。二极管 V1 的作用是, 当输入突然短路时, 为 C_1 放电提供一条通路; 二极管 V2 的作用是, 当输出短路时, 为电容 C_2 放电提供一条通路, 使它们不直接通过稳压块内部电路放电, 从而起到保护稳压块的作用。

除基本应用电路形式外, 还可用它组成电子关闭式、逻辑控制式、跟踪预调式、高输出电压 (100 V) 等多种形式的應用电路。

多端稳压块 在集成稳压块的早期产品中, 由于其功率晶体管、采样电阻、消振电容等均需外接, 因此其产品的引出端通常都是在 3 个以上,

其输出电压可通过改变采样电阻的阻值直接进行调节。由于多端稳压块调节比较灵活, 容易用它来实现一些特殊功能, 故在有些场合仍在应用。

高精度电压基准功能块 由于普通齐纳二极管的动态内阻大, 噪声电压高, 还具有一定温漂, 用它来作高精度稳压电源的基准电压不合适, 为此就出现了高精度电压基准功能块。高精度电压基准功能块 LM113 是一种能隙式基准元件, 它与一支稳压二极管的性能、用途及封装形式完全一样, 其稳压值仅 1.2 V。为了提高其稳压值, 人们又采用两管能隙电路制做了 2.5 V、5 V、10 V 的三端式基准电压元件, 它可以达到很高的稳定精度和很低的温漂。高精度电压基准功能块除应用能隙式电路来制作外, 还可用次表面隐埋齐纳二极管技术制成以齐纳二极管为主体, 配合以恒温电路的 6.9 V 的高精度电压基准功能块, 它的温漂极小。

(叶治政)

jicheng yunsuan fangdaqi

集成运算放大器 (integrated operational amplifier)

高增益的集成直流放大器, 又称线性集成组件, 通常简称“运放”。集成运算放大器一般采用双端输入、单端输出的结构形式, 如图 1 所示。图中“+”为同相输入端, 表示集成运算放大器输出端的信号 u_o 与该输入端信号的相位相同; “-”为反相端, 表示输出端的信号与该输入端信号的相位相反。集成运算放大器两个输入端之间的电压差称为差模输入电

压 u_{id} ($u_{id} = u_{i2} - u_{i1}$)。两个输入端分别输入极性相同、大小相等的信号电压, 称为共模输入电压 u_{ic} , $u_{ic} = \frac{1}{2} \times (u_{i1} + u_{i2})$ 。

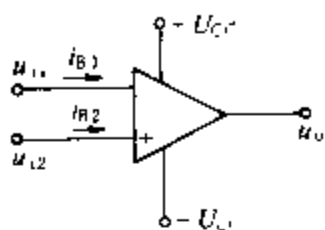


图1 集成运算放大器结构示意图

集成运算放大器一般由三级放大环节组成, 其简化原理方框图如图2所示。三级之间采用直接耦合, 故能放大缓慢变化的信号。

集成运算放大器主要用来放大各种信号, 在与外电路连接后, 可以实现各种运算功能, 供电路设计者采用。它具有以下特点: ①集成运算放大器本身具有很高的电压放大倍数, 达 10^4 倍以上; ②高输入阻抗; ③低输出阻抗; ④共模抑制比 K_{CMR}

$= \frac{|A_{ud}|}{|A_{uc}|}$ 很大, 达 10^5 倍以上, 式中 A_{ud} 为差模放大倍数, A_{uc} 为共模放大倍数; ⑤输入偏置电流、输入失调电压及输入失调电压均很小, 约为 μA 、 nA 、 mV 数量级。

工作原理 集成运算放大电路在线性工作时, 总是连接成图3所示的反馈电路形式。图中集成运算放大器在未接入外电路时, 本身具有的 A_{ud} 称为开环差模电压放大倍数, 即 $A_{ud} = \frac{U_o}{U'}$ 。一般电路中 $Z = Z_f // Z_1$, $//$ 是电阻并联符号。

该电路属并联电压负反馈放大器 (见反馈放大器)。由于在理想情况下, $A_{ud} \rightarrow \infty$, 则 $U' = \frac{U_o}{A_{ud}} \rightarrow 0$, $i_B \rightarrow 0$, 若运放的同相输入端为地电位, 则反相输入端接近于地电位, 通常称为“虚地”(并非真实的地, 否则无输入信号)。由于 $R_{id} \rightarrow \infty$, 故 $i_i = i_f$ 。该电路的闭环电压放大倍数 $A_{uf} = \frac{U_o}{U_i} \approx -\frac{Z_f}{Z_1}$ 。

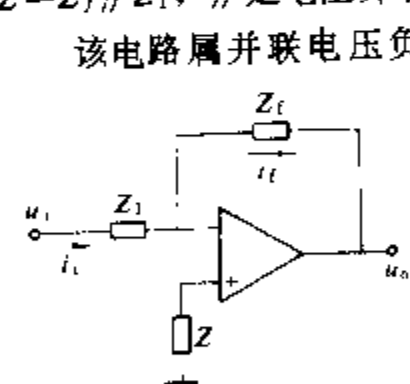


图3 集成运算放大器接成负反馈电路形式

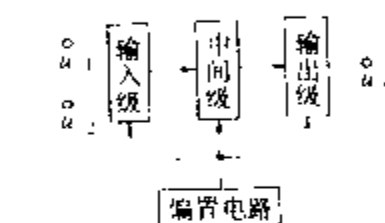


图2 集成运算放大器电路原理方框图

主要参数 运算放大器的参数种类繁多, 各个生产单位所给出的参数类型也可能不同。最基本的参数有直流特性参数和交流特性参数。

直流特性参数

(1) 输入失调电压 U_{os} , 即当输入信号电压为零时, 为了使输出电压为零, 在输入端必须加的补偿电压。输入失调电压一般是毫伏数量级, 如采用双极型晶体管作输入级的运放, U_{os} 约为 $\pm (1 \sim 10) mV$, 对于高精度、低漂移类型的运放, 一般 $U_{os} < 0.5 mV$ 。在电路中 U_{os} 可用平衡电位器或调零电路来补偿。

(2) 输入失调电压的温漂 $\frac{dU_{os}}{dT}$, 在一定温度变化范围内, 失调电压随温度而变, $\frac{dU_{os}}{dT}$ 就是 U_{os} 的温度系数, 一般约为 $\pm (10 \sim 20) \mu V/^\circ C$ 。高精度、低漂移类型的运放在 $\pm 1 \mu V/^\circ C$ 以下。可通过挑选温度特性较接近的晶体管作调零电路来补偿。

(3) 输入偏置电流 I_B , 是指两个输入端的静态基极电流 I_{B1} 和 I_{B2} 的平均值, 即 $I_B = \frac{1}{2} (I_{B1} + I_{B2})$ 。双极型晶体管输入的运放, I_B 约为 $10 nA \sim 1 \mu A$ 。

(4) 输入失调电流 I_{os} , 表示两个输入端的偏置电流之差, 即 $I_{os} = I_{B1} - I_{B2}$ 。输入偏置电流和输入失调电流的温漂分别用 $\frac{dI_B}{dT}$ 和 $\frac{dI_{os}}{dT}$ 表示。手册中给出的参数 U_{os} 、 I_B 、 I_{os} 是在一定电源电压、一定的测试温度和零共模输入电压条件下测得的, 在不同条件下, 会影响测得的数值。

(5) 开环差模直流电压放大倍数 A_{ud} 是运算放大器工作在线性区时, 输出电压变化和差模输入电压变化的比值, $A_{ud} = \frac{\Delta U_{od}}{\Delta U_{id}}$ 成用分贝表示的 A_{ud} 为 $20 \lg \frac{\Delta U_{od}}{\Delta U_{id}} dB$ 。实际运算放大器的开环差模电压放大倍数是频率的函数, 手册中给出的差模电压放大倍数均指直流 (或低频) 的电压放大倍数。一般 A_{ud} 约为 10^4 (或 $80 dB$)。

(6) 共模抑制比 K_{CMR} , 是运算放大器工作于线性区时, 差模电压放大倍数 A_{ud} 与共模电压放大倍数 A_{uc} 之比, 即 $K_{CMR} = \frac{|A_{ud}|}{|A_{uc}|}$ 或 $20 \lg \frac{A_{ud}}{A_{uc}} dB$ 。此处共模电压放大倍数是指当输入共模信号时, 运放输出电压的变化与输入共模电压的变化之比, 即 $A_{uc} = \frac{\Delta U_{oc}}{\Delta U_{ic}}$ 成 $20 \lg \frac{\Delta U_{oc}}{\Delta U_{ic}} dB \cdot K_{CMR}$ 也是频率的函数。手册中给出的均为直流 (或低频) 时的 K_{CMR} 。 K_{CMR} 值一般在 $80 dB$ 以上。

(7) 电源电压抑制比 $PSRR$, 运算放大器工作在线

性区时,电源电压变化 ΔE ,将引起输出电压变化 ΔU_o 。把 ΔU_o 折算到放大器的输入端,即相当有一个输入电压 $\frac{\Delta U_o}{A_{uf}}$, A_{uf} 为放大器的闭环放大倍数。 $\frac{\Delta U_o}{A_{uf}}$ 与 ΔE 之比即是PSRR,故 $PSRR = \frac{\Delta U_o}{A_{uf} \Delta E}$ 或 $20 \lg \frac{\Delta U_o}{A_{uf} \Delta E} \text{dB}$ 。若有正负电源,则两者的PSRR不一定相同。

(8) 最大差模输入电压 U_{idmax} ,是运算放大器两个输入端所允许加的最大电压差。当差模输入电压超过此电压值时,运算放大器输入级的晶体管基极与发射极之间的PN结将被反向击穿,甚至损坏。

(9) 最大共模输入电压 U_{icmax} ,在实际电路中常会遇到既有差模信号成分又有共模信号成分的输入情况,如果共模成分超过一定限度,运算放大器就不能正常工作。这个极限就定义为 U_{icmax} 。使用中一般不能超过此值。

交流特性参数

(1) 开环带宽BW,运算放大器的开环电压增益值从直流增益下降3dB(或直流放大倍数的0.707倍)所对应的信号频率。

(2) 单位增益带宽GB,当用正弦小信号驱动时,运算放大器的 A_{uf} 下降为1(或增益为0dB)的信号频率。

(3) 转换速率(有时也称压摆率)SR,在额定负载的条件下,当输入阶跃大信号时,运算放大器输出电压的最大变化率,如图4所示。通常手册中给出的SR均指闭环放大倍数为1时的值。实际上,在转换期内,运算放大器的输入级是处于开关工作状态,故与其闭环放大倍数无关。一般SR约在 $1 \text{ V}/\mu\text{s}$ 以下,而高速运算放大器的 $SR > 10 \text{ V}/\mu\text{s}$ 。此外,还有差模输入电阻、共模输入电阻、输出电阻等参数。

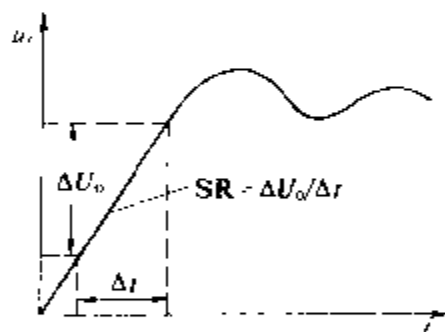


图4 转换速率SR

(叶德璇)

计测电阻材料

(resistive materials for measurement) 用于制造各种测量仪表中的精密电阻的材料。对这种材料的要求是:电阻率高,电阻温度系数小、稳定性好,对铜的热电动势小。常用的计测电阻材料有锰铜、康铜、银锰合金、金铬合金、镍铬合金和铁铬铝合金等。

锰铜(manganin) 最典型的计测电阻材料。主要由铜、锰、镍组成,占98%以上。如添加0.25%铁

和0.1%硅,则合金性能十分优良,对铜的平均热电动势小于 $2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。若将电阻温度系数考虑到二次项,即

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t + \beta\Delta t^2)$$

则在 20°C 附近 $\alpha < 20 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, $0 \geq \beta \geq -1 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})^2$,电阻率 ρ 约为 $42 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$,在 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 范围内出现最大值。著名的依沙别琳(Isabellin)合金,哈尔曼(Halman)合金等均属于优质锰铜系合金。

康铜(Constantan) 即铜镍合金,由于它对铜热电动势可高达数十微伏,因此只宜用于交流仪表中作精密电阻。

银锰合金 除主要成分银、锰外,含少量锡。当合金成分合适当时,其 α 、 β 优于锰铜。

金铬合金 价格较贵,对铜的热电动势略高于锰铜,但稳定性极好。

镍铬合金、铁铬铝合金 过去仅用作发热电阻材料,近年来适当改变合金的成分及性能后,用作高电阻标准电阻,并用作小型化的精密电阻。

(黄嘉祥)

计算机

(computer) 按程序自动处理信息的机器系统,又称电脑。它处理的对象是信息,处理的结果也是信息。计算机是脑力的延伸和扩充,是近代科学的重大成就之一。

利用计算机解决科学计算、工程设计、过程控制、经营管理、人工智能等各种问题,都是按照一定的算法进行的。算法是定义精确的一系列规则。程序是对处理对象和处理规则的描述。程序以符号串的形式存入计算机内。利用存储程序,控制计算机自动进行各种基本操作,直至获得预期的处理结果。计算机基于存储程序处理信息这一共性方法,决定了计算机应用的通用性和柔性。

发展 1946年第一台采用电子管的现代数字计算机在美国诞生。经过萌芽时期,到50年代,计算机走向实用化,从军事专用普及到民用,由科学计算扩展到事务处理。50年代是电子管计算机时期,这时的计算机还没有配操作系统。1959年到1964年最晶体管计算机时期。出现了操作系统初级阶段的管理程序。1964年后,进入了集成电路计算机时期,推出了可适用于科学计算、事务处理和实时控制的通用计算机。出现多道程序和分时操作系统。半导体存储器逐步替代了磁芯存储器,并且普遍采用了虚拟存储器技术。70年代中期,研制或现代巨型机,并行处理技术进一步发展。70年代初,4位微处理器芯片问世。到80年代末已发展到64位微处理器芯片,极大地促进了微型计算机的发展,计算机得以进入个人应用的广阔领域。80

年代初,出现了有专用图形处理硬件的工作站。精简指令集计算机(RISC)处理器的推出、并行处理技术的引入,使工程工作站的运算速度迅猛提高。1969年末,第一个分组交换计算机远程网的研制成功并开通,引起了70年代多种计算机网络体系的形成。70年代中出现了网络操作系统和分布式操作系统。随着微机应用,出现了总线以太网。在80年代形成了多种网络的标准。计算机摆脱单机运行而连成网络,或网络互连,实现计算机通信和资源的共享。

组成 计算机系统由计算机硬件系统和计算机软件系统组成。

(1) 计算机硬件系统:包括计算机本体及其外围设备。它是计算机赖以工作的实体。计算机本体由中央处理器、主存储器、辅助存储器、输入输出控制系统等组成。①中央处理器。包含运算器和控制器。运算器是对数据实行算术运算和逻辑运算的部件。控制器是解释指令码并控制其他部件协同操作的定时控制部件。②主存储器。能由中央处理器直接随机读出或写入二进制信息的部件。③辅助存储器。为弥补主存储器容量不足而设的与主存储器顺序成批交换信息的大容量存储器。④输入输出控制系统。

外围设备主要完成信息的输入、输出和成批处理的任任务,是计算机和外界实现联系的设备。有输入输出设备、外存储设备、终端设备和脱机设备。

(2) 计算机软件系统:各种程序和文件的集合。是用户与硬件之间的接口,担负着计算机系统运行的职能。它大致可划分为系统软件、支援软件和应用软件三层。①系统软件:位于计算机系统中最靠近硬件的一层、用以扩大系统功能供各种用户使用的软件。有操作系统、汇编程序、编译程序、网络软件以及各种服务程序等。②支援软件:为开发软件提供各种工具,如环境数据库、接口软件和工具组。③应用软件:特定应用领域专用的软件。如发电机的计算机辅助设计就是一种应用软件。

分类 计算机按性能及并行处理的结构分类如下:

(1) 按性能分类:反映计算机性能的指标有主频(或运算速度)、字长、主存容量和编址空间、I/O能力、指令系统、数据类型(定点、浮点、向量、数组)等。在性能上从高到低划分为:巨型机、大型机、小型机、工作站、微型机、便携型机。50年代,受器件的限制,计算机不但体积庞大,而且用于科学计算的计算机和事务处理的计算机是分开的。60年代中期,集成电路的采用才把二者的功能结合起来,并出现系列机。70年代中开始推出现代巨型机。巨型机都是应用当时最先进的计算机科学技术成就,使机器达到最快

的运算速度,最大的存储容量,最强的I/O处理能力。微型机的推出,因其轻巧、价廉,使计算机能普及到个人应用。在微机发展的基础上,增强图形处理的硬件形成工作站。微机向轻、薄、短、小发展,产生了便携型机乃至掌上机。各型的计算机在性能上都在不断地提高,过去只能在巨型机、大型机上采用的系统结构方面的先进技术,如流水线技术、快速缓冲存储器技术、虚拟存储器技术、冗余可靠性技术等已不断地下移到小型机、微型机上,甚至微处理器芯片上。随着RISC技术的成熟,芯片功能越来越强,使运算速度急剧提高。

(2) 按并行处理结构分类:根据处理机执行指令的序列——指令流,由指令流所调用的数据序列——数据流,以及处于同一执行阶段的指令和数据的最大可能个数,计算机可分为单指令流单数据流(SISD)、单指令流多数据流(SIMD)和多指令流多数据流(MIMD)。①SISD:指令部件的工作方式是一次只对一条指令译码,并只对一个操作部件分配数据,即传统的顺序执行的标量计算机。即使在计算机内设置多个操作部件(如运算协处理器),只要没有改变这种方式的,均属此类。②SIMD:处理机内有多个重复的处理单元,由单一指令部件按照同一指令流的要求,同时向各处理单元分配各自的数据,如陈列处理机、相联处理机等,大都是专用的并行处理计算机。此外,流水线计算机也可划入此类。③MIMD:相互通信的多个处理机协同工作,实现作业、任务、指令、数组级的全面并行处理。这类计算机有按传统诺伊曼结构的共享存储器的多处理机和分布存储器的多处理机以及非诺伊曼结构的由数据驱动的数据流计算机、按需求驱动的规约计算机等。现代巨型机、大型机大多采用MIMD多处理机结构。

学科内容 计算机科学与技术是一门实用性很强、面向全社会的技术学科。它建立在数学、电子学、磁学、光学、精密机械等多门学科基础之上。它包括如下分支学科:理论计算机科学、计算机软件、计算机系统结构、计算机组织与实现、计算机外围设备技术、计算机应用等。

应用 计算机的应用已渗透到自然科学、社会科学、国民经济、国防军事等多个领域。计算机的应用有两大范畴:一是数值计算,用于科学计算、系统模拟、工程设计等方面;另一是非数值计算,面向符号处理,用于数据处理、文字处理、自动控制、知识处理和智能处理等方面。

(1) 科学计算:计算机科学与技术同各门学科相结合,改进了研究工具和方法。由计算机进行计算和模拟已作为科学研究中理论和实验两种传统手段外的

第三种重要的手段。科学计算可视化技术通过图像显示能更直观地把计算结果转变为随时间和空间变化的物理量和现象,有助于加快、加深对现象的认识和规律的发现。

(2) 计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM): CAD 已成为机械、电子、轻工、建筑等各行各业的一项重要新技术。人工智能和工程数据库技术与 CAD 结合,使设计自动化和优质化更为完善。CAD/CAM 实现了从设计到加工的一体化,提高了产品质量和经济效益。电力工程 CAD 覆盖了规划、勘测、可行性研究、初步设计和施工设计的全过程,可显著提高设计质量,缩短设计周期,降低工程造价。

(3) 工厂自动化: 计算机在各种生产过程系统中的应用,大大提高了自动化水平。如水、火、核电厂实行计算机监视和控制,实现自动化过程控制,能有效地防止事故,延长机组寿命,提高在线性能指标,减少偏差损失。大电网的计算机自动化调度,能合理地利用动力资源、降低网损和发电成本。

(4) 办公自动化和管理信息系统、决策支持系统: 对企业的物料、设备、人力、资金、信息等的资源进行全面规划和管理,实现优化决策。战略信息系统的实施,使企业在外部竞争的环境中取得优势的战略目标。计算机集成制造系统 (CIMS) 把企业在生产与经营活动中的各自动化系统有机地集合在一起,以最小的制造与管理资源,获得最佳的经济效益。

(5) 计算机嵌入产品: 微处理器、微计算机嵌入机械、电子、通信、医疗,乃至家用电器,使这些产品向智能化发展。它会引起产品的更新换代,甚至导致行业产品结构的变化。

(6) 军事系统: 计算机用于军事系统,已使武器装备、军事设施,战争模式、军事理论学说产生了巨大深远的变化,对战争产生重大影响。

展望 高速低耗超大规模集成电路和并行处理技术,使计算机的功能迅速十、百、千……倍地提高;高密度表面组装技术使计算机结构更为紧凑、微型化;综合声音、图像、动画、文字的多媒质技术与模式识别、自然语言处理使人机交互更为和谐;光缆通信、计算机网络和信高速公路的发展将改变社会活动模式和人们的生活方式;计算机辅助软件工程、软件设计过程自动化使软件生产和维护,从手工转向工程化;战略性的跨系统应用体系结构使计算机系列兼容;开放系统互连提供计算机通信和互操作环境;计算机根据人工智能的原理,在运行中自动学习、推理、判断,将部分代替人的脑力劳动。

(张德馨)

jisuanji bingdu

计算机病毒 (computer virus) 一种人为制造的隐藏在计算机中具有传染力和破坏力的计算机程序或某种密码。它利用信息通道或存储介质,从一个计算机系统传染到另一个计算机系统以至整个计算机网络。它由传染部和行动部两个基本部分组成: 传染部决定病毒蔓延的速度和侵袭的范围; 行动部决定病毒危害的程度。计算机一旦受到感染,轻则侵占系统资源,降低计算机工作效率,重则破坏程序和数据,甚至使系统瘫痪。

计算机病毒的发源地在美国。1987 年以后计算机病毒在全世界广泛传播。中国在 1989 年 4 月发现第一例计算机病毒——“小球”病毒,此后计算机病毒在国内迅速蔓延。已经发现的 20 多种病毒大部分是通过各种途径从国外传入的,也有中国人自己编写的。

抗计算机病毒的措施主要依靠管理,如不使用、不复制不知底细的软件,采用隔离办法限制病毒传染等。技术上可使用抗计算机病毒的“疫苗”程序,防止计算机病毒的传染。也可用检测、清除软件检查来清除计算机病毒。计算机病毒的扩散和防治是一个对抗性的领域,必须制订有关法律来防止计算机病毒的进一步扩散。中国由公安部计算机安全监察司负责计算机病毒的防治工作。

(许锡章)

jisuanji changdi jishu

计算机场地技术 (technology of computer room) 为保证电子计算机在使用环境条件下能长期可靠地运行所采取的一系列技术。这种技术是使用和维护好计算机的基本条件。其主要内容如下。

(1) 使用空气调节系统保持机房内必须的温度与湿度。大型机或部分小型机的机房温度约为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $55\% \pm 10\%$ 。微型机机房温度约为 $15 \sim 30^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $40\% \sim 70\%$ 。

(2) 采用不间断电源系统 (UPS) 或交流稳压器对供给计算机的交流电稳压、稳频、直至停电保护。

(3) 采用隔离变压器、LC 滤波器及供电专线等措施,以抑制外部供电电路上的各种干扰电压的影响。

(4) 有良好的接地系统。要求交流接地、直流接地与设备保护接地分别引入大地。接地电阻 $1 \sim 4 \Omega$ 。建筑物的防雷接地极与其他接地极之间的距离应在 20m 以上。防雷保护接地电阻应不大于 10Ω 。

(5) 保持场地清洁度,避免磁头或磁盘表面积尘。例如微型机机房的尘埃粒度一般要求小于 $0.5 \mu\text{m}$, 一升空间的尘粒数小于 10000 粒。

(6) 其他措施。如防火、防潮、照明、降噪声等。

中国已制订出 GB2887—82《计算机场地技术要求》国家标准。

(张厥标)

jisuanji fangzhen

计算机仿真 (computer simulation) 用系统模型代替真实系统或假想系统在计算机上进行的实验和研究。其目的在于了解系统的特性及其内在联系。通过对模型的试验,可以对系统进行分析、性能评价、优选设计方案以及性能预测等。早期的仿真主要是物理仿真,它用易于实现、便于观察的物理过程模拟真实系统的过程。现代仿真技术与计算机发展密切相关,全数字仿真技术已或为当前仿真技术的主流。

仿真技术已广泛应用于宇航、核能、电力、通信、计算机集成制造系统、化工、冶金等工程领域,如飞行器的设计、核电站的设计、电力系统的规划与调度以及操作人员的教育与培训等。它可以缩短工程周期,降低系统成本,提高系统实验与训练过程中的安全,因而产生巨大的社会效益。对于社会、经济等非工程领域,由于不能直接进行实验,仿真技术更是研究的必要手段。

仿真流程 利用仿真技术解决实验问题大致可分为图中所示的几个步骤:①建立数学模型:根据研究目的、系统的先验知识以及实验的观测数据,把实际系统抽象成数学公式或流程图;②建立仿真模型:主要根据数学模型的形式、计算机类型以及仿真目的,将原始数学模型转换或仿真模型;③编写仿真程序;④仿真结果验证和评价;⑤输出结果。

仿真语言 面向描述各类仿真模型的计算机语言。它具有三种功能,即:模型描述的规范与处理;仿真实验的执行与控制;数据与结果的分析、显示及文档化。仿真语言可分为三类:

①连续系统仿真语言。如 CSSL、CSMP、ACSL、DONAMO 等。它适用于常微分方程、偏微分方程和差分方程数学模型以及系统动态学模型。②离散事件系统仿真语言:如 SIMULA、GPSS、SIMSCRIPT 等。它适用于进程交互、事件处理或活动描述的代数方程数学模型和排队模型。③

连续/离散混合系统仿真语言。如 SLAM、SIMAN、GPSSF3 等。它是上述两类模型的组合以及沟通它们之间的通信描述。

展望 随着计算机技术和人工智能的发展,将把

面向建模与仿真方法学的知识或面向某种应用领域的知识引入系统环境,构成各种专家系统;把将机器学习能力及面向目标的知识处理能力引入环境内,将自然语言、图形与视频图象技术等用于人机接口,构成高度智能化的面向用户、面向问题、面向实验的建模与仿真环境,从而使经典的仿真系统转变或新一代智能仿真系统。

(董大象)

jisuanji fuzhu ceshi

计算机辅助测试 (computer aided test)

借助于计算机检查元件、部件、系统、电路设计或计算机程序的技术,简称 CAT。由于测试对象的复杂性,测试的全过程没有一步能离开计算机,因而产生了计算机辅助测试这样一门新技术。

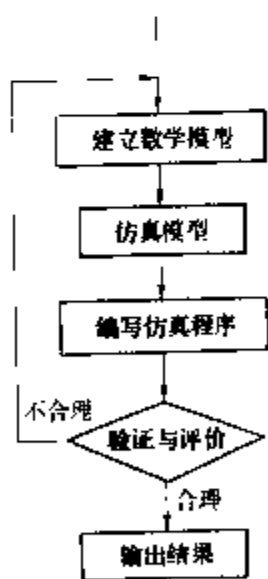
分类 按测试环境可分为设计验证、产品检验、设备维修和运行监督四类。①设计验证:为了通过测试确认一个设计的正确性。②产品检验:在工厂生产过程中进行半成品、或品的检验,进行产品的分类和筛选,是质量控制的重要环节。③设备维修:不但要检查设备是否正常,还需要进行故障诊断,以便确定故障部位。④运行监督:在系统运行过程中,不断测试系统是否正常。

电路的测试按被测对象可分为集成电路测试、印刷电路板测试和系统测试三类;按被测参数可分为直流参数测试、交流参数测试和特性测试。对数字电路(或逻辑电路),特性测试主要是指逻辑功能的测试,即检查被测对象的逻辑功能是否正确。

基本原理 测试的基本原理是给被测对象一组刺激,观察它的响应,如果响应正确就说明被测对象不存在某一类故障。如果刺激给得足够多,就可以断定被测对象是否完全正常。

对逻辑电路进行逻辑功能的测试,主要包含测试产生和测试实施两个阶段:①测试产生。利用专门的软件系统,用以产生足够的刺激输入,并有预期的正确响应。通过故障模拟可以知道,所产生的测试集能保证多高的故障被测度。这里,故障被测度是指能新定不存在的故障数占故障总数的百分比。②测试实施。在一台测试仪上对被测对象实施测试。一般测试仪是一种复杂而且精密的仪器,它本身包含一台计算机,价格昂贵。对模拟电路或数字、模拟混合电路,同样有上述两个阶段,只是问题的着重点有所不同而已。

由于电路越来越复杂,因此设计的结果必须进行验证,并且测试的问题在设计阶段就应考虑。从而产生了可测试性设计技术,即在设计阶段,增加一些硬件开销,采取必要措施,以便提高可测试性。



仿真流程图

随着计算机应用的不断扩大和计算机系统结构的发展,计算机程序也越来越复杂。计算机软件已成为人和计算机共同生产的产品。软件测试成为计算机辅助测试的一部分,也是计算机辅助软件工程的重要内容。

(闵应骅)

jisuanji fuzhu sheji

计算机辅助设计 (computer aided design)

用计算机技术来完成设计过程中的综合、分析、计算、校验、修改和文件编制等工作,简称CAD。CAD的对象既可以是一种产品,如机械、建筑、集成电路、日常用品等,也可以是一种规划或一种过程,如在布匹上截取衣片,在空间中布置设备,或者设计工艺流程。CAD可以使设计人员利用计算机系统的高速计算和推理能力、精确而巨大的数据存储能力、方便的通信和编辑能力,加快设计速度,提高设计质量,降低设计成本。CAD是计算机应用的最重要分支之一。

简史 CAD的概念成形于1963年美国麻省理工学院I·萨瑟兰(Ivan Sutherland)等提出的人机交互绘图的思想之中。随后,汽车、飞机、印刷线路板的CAD系统相继研制成功并投入使用。在70年代,有限元分析方法程序的实现促进了工程CAD的发展;几何模型系统的实现和消隐算法的成熟改善了对象表达与显示能力;光栅扫描显示的使用使图形软硬件进入新的阶段。在80年代,微机图形系统和工作站日益普及,使CAD在电力、电子、建筑、机械、轻工、化工、纺织、军事等各行各业蓬勃发展。智能CAD方法逐步发展,自动设计系统开始出现。

CAD系统 包括CAD硬件系统和CAD软件系统:

CAD硬件系统 包括计算机、外存、图形输入、输出和显示设备,网络设备等。CAD要求计算机速度快、容量大,以适应设计中大量的计算和数据处理工作;要求图形设备有合适的分辨率和色彩层次,以保证设计文件的精确性和生动性;要求设备连网,使协力设计的工程师们能共享数据,共享设备,彼此通信,从而提高设计质量,减少误差,降低成本。

工程工作站和微机图形设备是两种最常用的CAD硬件系统。工作站是一个由32位CPU、1024×1024的图形显示设备、4兆以上的内存、网络接口、键盘、鼠标器等部件经过统一设计,集装而成的计算机系统。工作站往往装有快速图形处理硬件,以满足CAD中快速图形操作的需要。通用微机加图形设备也可以形成CAD硬件系统。它虽然效率不如同类工作站,但价格便宜,因此也被广泛使用。

CAD软件系统 包括通用CAD软件和专用CAD软件。

(1) 通用CAD软件:也称CAD支撑软件,在CAD各领域具有通用性。包括图形软件、模型软件、数据库、计算软件等。①图形软件。它提供一组基本图形元素,如基元、图段等,和一组施加于基本图形元素上的操作,如组合、变换、显示、输入、输出等。②模型软件。它提供一组基本模型元素,如长方体、球、圆柱、圆锥等,和一组施加于基本模型元素上的操作,如交、并、差、及几何计算等。③数据库。它提供CAD数据的管理操作,如存、取、检索、分类和关系操作等。④计算软件。它提供设计中常用的计算方法,如有限元分析程序(FEA)、线性规划和其他优化程序。

(2) 专用CAD软件:用于专门对象的设计,如建筑CAD软件、机械CAD软件等。专用CAD软件采用切合设计对象的专门模型、特殊操作及适合该行业的交互界面,因此易学易懂,使用方便。专用CAD软件通常在通用CAD软件基础上再开发而成。

CAD的方法 按照计算机介入设计过程的深度不同而不同,包括交互图形编辑方法、交互对象造型方法、参数计算方法、人工智能方法、动态模拟方法、自动设计方法等。使用自动设计系统时,用户给出设计条件,系统经过分析、综合、计算、修改,绘出设计的解(或是无解)。这种解可以是任意一个解、或是一个优化解、或是一个解的集合。

智能CAD 使用人工智能技术的CAD方法。人工智能中关于知识表达、推理、搜索、学习等基本技术,和关于自然语言理解、专家系统、机器视觉等研究成果可以用于改善CAD的各个方面,如人机交互方法、对象综合方法、图形操作和数据库操作方法等。智能CAD是CAD研究的重要前沿。

CAD的设计结果具有数字形式,很容易与计算机辅助制造(CAM)系统连接起来,用以控制数控机床、柔性制造系统和机器人生产产品。这样的系统称为CAD/CAM系统。在CAD/CAM系统中加入计算机计划调度、财务管理、市场经营等功能,就是一个计算机集成制造系统(CIMS)。

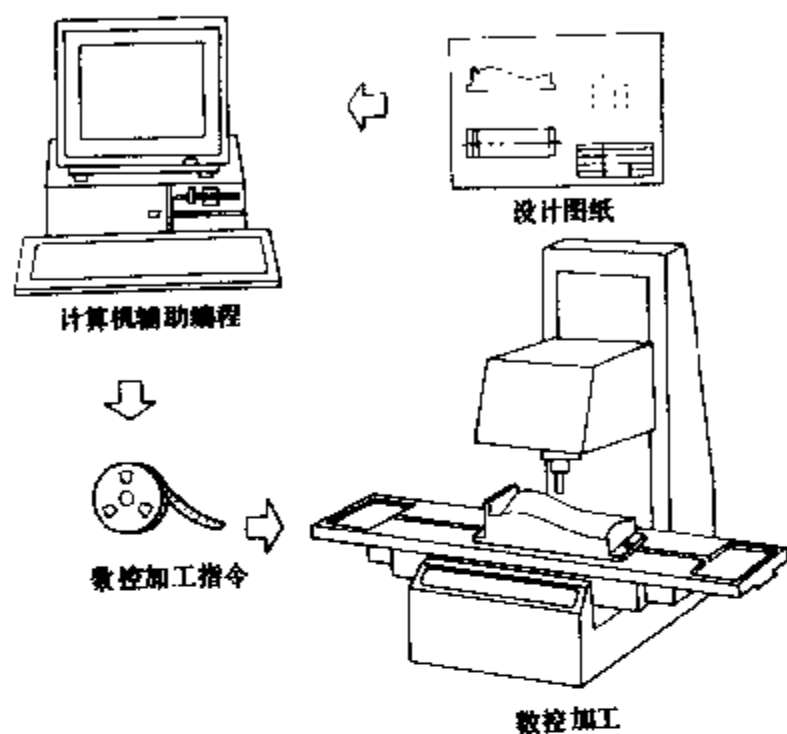
(潘云鹤)

jisuanji fuzhu zhizao

计算机辅助制造 (computer aided manufacturing)

用计算机来帮助人计划、管理、监测和控制生产中的加工和制造,简称CAM。它包括:①计算机的直接应用,即通过与加工直接相连的接口,对加工过程中产品的工艺参数和设备情况进行监测和控制;②计算机的非直接应用,如用计算机为零件的数控

加工提供所需的程序, 为各产品和零件准备加工工艺过程表, 实现计算机辅助工艺设计 (CAPP), 为工厂制订生产计划, 安排从原材料、外购件的订货、购买直到成品发货整个过程, 以及为各生产车间管理调度生产等。是基本的 CAM 系统如图所示。



最基本的 CAM 系统

数控 (NC) 机械加工中用计算机控制数控机床是 CAM 的核心。计算机的高速度和大容量保证了由它给出的控制信号的高速度和高精度 (包括对监测信号的反应); 计算机可编程序的特点又使得由它所控制的机器, 只要改变一下程序即可改变其原来的运动, 去重复新的繁重的工作。用一台小型 (包括微型) 计算机控制一台数控设备称作计算机数字控制 (CNC); 用一台计算机分别控制若干台数控设备, 称作直接数字控制 (DNC); 而在加工过程中根据监测到的参数变化, 不断优化、补偿的控制称作自适应控制 (AC)。

柔性制造系统 (FMS) 用一台小型计算机控制一台数控设备, 如数控铣床、数控车床、数控镗床和数控磨床等是 CAM 中最基本的加工单元。其中, 带有刀具库, 能对一次装夹在上面的零件进行多种加工的机床叫数控加工中心。由多台数控机床 (包括加工中心), 配上传输装置或工业机器人, 在计算机的统一控制下排成的流水线, 则能完成复杂零件、部件, 甚至整个产品的加工或装配。和传统的只能生产单一产品的流水线相比, 这种流水线很容易通过改变程序来使之适应制造新的产品, 因而灵活得多, 故被称作柔性制造系统。

工业机器人和数控机床一样, 是一种由计算机控制的、通用的可编程机器, 只是它具有一定的模拟人的特征的能力, 特别是它有机手, 达使它非常适合

做装卸工件、点焊、喷漆、装配等制造过程中必不可少的工作。

由于数控机床的运动和加工都是按所输入的程序进行的, 因而为待加工零件的数控加工准备数控加工程序是必不可少的。许多高精度的复杂零件 (如叶轮等空间曲面) 如果没有数控机床就难以加工。同样它们的数控加工程序, 没有计算机的辅助编程也是难以做到的。

随着计算机辅助编程的发展, 产生了许多不同的应用软件, 其中以美国的 APT 语言开发得最早、最完善和最有代表性。也正是从数控加工的计算机辅助编程着手, 人们正在把计算机技术与计算机辅助设计 (CAD) 技术中的最新成果和计算机数控编程软件中的特长结合起来, 进一步沟通设计和制造, 沟通 CAD 和 CAM。而 CAD 和 CAM 技术的紧密结合和发展, 又将为从市场信息直到生产出新产品销往市场的全过程都利用计算机控制, 为计算机的集成制造 (CIM) 奠定基础。(见计算机集成制造系统)

(张纪文)

jisuanji guocheng kongzhi

计算机过程控制 (computer process control)

计算机参与各类过程控制的系统。系统对被控对象 (过程) 的有关参数进行采样, 并经模数转换变成数字量送给计算机, 按预定的控制规律进行计算, 再通过数模转换, 把计算结果转换成模拟控制量, 对过程进行控制, 使被控制量达到预期的指标。计算机过程控制不仅在宇宙航行、导弹制导、机器人以及核技术等新兴学科中, 而且在金属冶炼、电力、机械制造等领域获得广泛应用。它为提高产品质量、改善劳动条件和提高经济效益发挥着重要的作用, 是自动化技术发展的一个重要方向。

分类 计算机过程控制按照应用特点与控制方式可分为下列 5 类:

(1) 操作指导控制: 对生产过程大量数据作巡回检测、处理、分析、记录以及参数的越限报警, 指导操作人员调节各回路参数或直接控制执行机构。它主要用于监督生产和新模型的试验。

(2) 直接数字控制 (DDC): 计算机作为闭环控制回路中的一个控制与决策部件。DDC 除了能实现比例-积分-微分 (PID) 调节规律外, 还能进行多回路串级控制、前馈控制、滞后补偿控制、多变量解耦控制以及自适应等复杂规律的控制等。

(3) 监督控制 (SCC): 根据生产过程的工艺参数, 按数学模型计算最佳控制值, 在线实时修改 DDC 的设定值, 实现最优、自适应、智能等复杂控制。SCC 可

以提高系统的可靠性。

(4) 分级控制 (HCC): 现代工业生产规模庞大, 过程复杂, 信息量大。为协调各生产设备的工作和生产管理任务, HCC 采用多级多目标的体系结构。图 1 表示典型的分级控制系统。DDC 级用来控制生产过程, SCC 级主要用来实现最优控制和自适应控制, 指挥 DDC 级工作并向

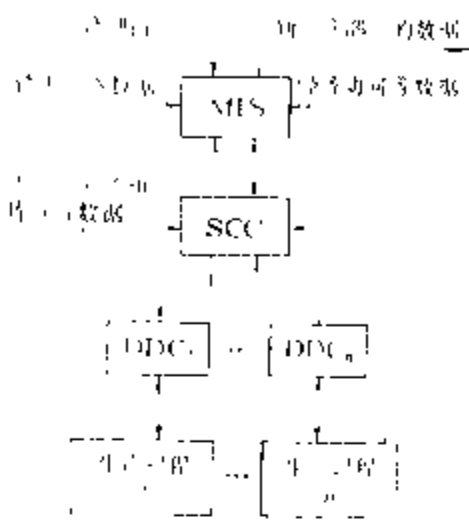


图 1 典型分级控制系统

生产管理级 (MIS) 汇报。MIS 主要任务是根据经济动向、销售、订货、原料供应以及生产情况, 进行产品预测, 制定长期规划、安排生产和销售计划。分级控制系统解决的不是局部最优化问题, 而是全局总任务最优化问题。

(5) 智能控制 (IC): 运用人工智能、控制理论和运筹学技术, 在未知环境下, 仿效人类的智能, 借助于专家经验、启发式直观判断和直觉推理等机制, 实现对过程的控制。智能控制是正在迅速发展中的一个领域, 常见的有多级递阶控制、专家控制、自寻优控制、自学习控制、基于神经网络控制等。

图 2 是自学习控制系统的结构。该系统在运行过程中能进行在线学习, 自动获取知识, 不断地总结积累经验, 更新和完善知识库, 并利用自身获得的知识, 通过调整系统的参数修改控制规则或完善控制算法, 逐步改善和提高系统的控制性能。

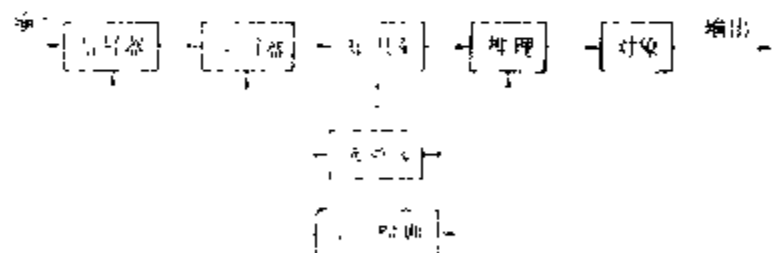


图 2 自学习控制系统的结构

发展简史 过程控制的发展大致经历以下阶段: 20 世纪 30~40 年代, 通常是对单个设备进行局部控制, 设备之间互不联系; 50 年代, 采用组合仪表和巡回检测装置的集中操作和监控; 60 年代, 实现直接数字控制; 70 年代, 实现局部控制、集中管理的分布式控制结构; 80 年代以来, 向智能控制方向发展。

(徐毓良)

jisuanji jicheng zhizao xitong

计算机集成制造系统 (computer integrated manufacturing system)

制造企业内部包括产品的设计、制造、经营及销售在内的全面的、综合的自动化系统, 简称 CIMS。它是在制造技术、计算机技术、信息技术和系统科学的基础上, 将制造工厂生产经营活动中的各自动化系统 (包括管理、控制、设计、加工、检验、装配、运输及决策支持等) 有机地集成起来, 以最小的制造与管理资源, 获得最佳经济效果的生产经营系统。

发展 计算机集成制造系统的概念, 最早出现于美国 J. 哈林顿 (J. Harrington) 1973 年的著作中。随着计算机技术的高速发展, 80 年代以来 CIMS 已成为发达国家的研究热点, 并开始在一些企业中实施。如美国的 IBM 公司、英国的 FERRANTI 雷达制造厂、联邦德国的 MAHO 机床公司和日本的 OKUMA 公司等。由于 CIMS 不仅已表明是切实可行的高技术, 而且给企业带来了新的活力, 各国纷纷把它列入长远发展的计划之中。如美国的 ARMF 计划和欧洲共同体的 ESPRIT 计划等。中国也于 1986 年正式将 CIMS 列入具有战略意义的 863 高科技计划。

基本内容 CIMS 通常包括计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工艺规划 (CAPP)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助装配 (CAA)、计算机辅助质量控制 (CAQ) 和计算机辅助管理与决策等子系统, 并以计算机网络系统将工厂内部以计算机为基础建立起来的各种自动化单元联成一体, 采取分布式数据库和知识库技术实现工厂内部各生产环节的数据和信息共享。作为未来工厂的模式, CIMS 将向标准化、一体化及智能化方向发展。

特征 作为一项高科技技术, CIMS 的主要特征为: ①CIMS 决不是简单的单元技术的叠加, 而是一种有机的集成。因而它是工厂战略研究的抉择。它特别强调提高企业的经营与管理效率, 从而形成一个高效协调的、具有极强应变能力的综合系统, 对生产过程的物质流及管理过程的信息流, 通过计算机进行有效的控制, 以提高产品的质量和产量。②CIMS 并不是追求实现无人化。因为 CIMS 是从市场分析—经营策略—接受定单开始, 一直到产品交付使用—售后服务为止, 几乎覆盖了企业的全部活动。显然, 对这样一个十分复杂的系统, 其所有活动不可能全部实现自动化。这就必须在详尽分析可能与不可能及投资与效益的基础上, 正确划分人与机器的交互界面; 将人与机器的作用都发挥到最合理、最充分和最经济的程度, 真正实现把人变成生产的指挥者。

(孔繁胜)

计算机可靠性技术 (computer reliability technology)

使计算机可靠运行的方法和措施。可靠性是指在规定的条件下,计算机系统在预期的时间内完成规定功能的概率。计算机系统的可靠程度还与可用性、可维护性、安全性紧密相关。随着计算机应用范围日益扩大,尤其是联机实时控制广泛应用,对可靠性的要求十分严格。

可靠性技术包括研制高可靠性器件、可靠性设计、冗余技术、信息保护与保密等。

提高器件可靠性 指研制高可靠性器件代替低可靠性器件。如利用大规模、超大规模集成电路替代中小规模集成电路。

可靠性设计 根据系统寿命周期,在各设计阶段进行周密的可靠性分析,预先针对薄弱环节,采取非容错设计或容错设计。①非容错设计:在允许的成本范围内选择可靠性高的元件和连接装配技术,采取抗外界干扰的屏蔽措施等。在设计中进行可靠性估算、分系统功能模拟仿真和测试、逻辑正确性验证及系统诊断测试等。②容错设计:允许系统有故障时还能正确运行的设计。

冗余技术 在系统中附加构件或设备,以提高计算机系统可靠性的技术。包括硬件冗余、软件冗余、时间冗余等。

(1) 硬件冗余:分静态硬件冗余、动态硬件冗余和混合硬件冗余三种。①静态硬件冗余,又称屏蔽冗余。通过附加硬件的办法来屏蔽故障,如二取一(同一种功能由二个元件承担)、模三表决机构等。②动态硬件冗余,也称自修复。它首先检测并确定故障所在的部位,然后用备份单元替换失效单元,有选择地修复故障。它要求系统有模块结构并附有故障检测和部件切换电路。③混合硬件冗余。混合使用静态和动态硬件冗余。

(2) 软件冗余:用附加软件达到容错目的。如关键程序多处存储,在程序中附加一些测试程序等。

(3) 时间冗余:又称程序复执。当检测到瞬时故障后,回到故障之前的系统状态,再次启动。如磁盘读错允许多次读出。

信息保护 指防止信息破坏、失密和偷窃。常用的有:采用编码技术,检测出错信息或纠正错误信息;采用加密技术,防止信息失密;在系统中规定访问权限,防止侵权访问和信息窃取等。

计算机系统可靠性是计算机科学技术的一个重要领域。它包括可靠性模型的建立,系统可靠性计算分配,系统故障检测,诊断与容错设计等技术理论的研究。超大规模集成电路技术的应用,又进一步促进冗余

技术和容错技术的发展。自诊断与修复、替代冗余、维护再入等技术的广泛应用,使计算机系统的可靠性分析计算更加依赖计算机。

(潘雪增)

计算机软件 (computer software)

程序及其有关的文件。用计算机解某一问题时,程序是对该问题的处理对象和算法的描述,通常选用某种程序设计语言书写,它必须装入计算机才能运行。文件是指与软件研制、使用和维护有关的资料以及为了便于理解程序所写的说明,可以书面形式提供,也可以存在计算机中。

硬件和软件是计算机系统的两大组成部分。硬件是指计算机及其配套的外围设备,是物质基础,软件是用户与硬件之间的接口,担负着计算机系统的指挥职能,可用来扩大计算机功能和提高计算机的效率。软件的发展以硬件为基础,其发展也促进了硬件、计算机科学技术及其他科学技术的发展。

发展过程 20世纪50年代的计算机只能运行较简单的程序,主要的研究对象是科学计算。当时设计和编制程序为个体工作方式,使用低级语言(机器指令或汇编语言)编写,强调编程技巧。随着第二代和第三代计算机的出现,为了充分利用计算机系统资源,提高编程效率,扩展计算机向非数值计算领域的应用,出现了操作系统,高级程序设计语言,编译程序以及数据库管理系统等。此时应用领域迅速扩大,软件的复杂程度大大增加。到了60年代中期,产生了软件危机,主要表现在研制周期和成本大大超出预算,正确性和可靠性不能保证。为了摆脱这一困境,在1968年提出了软件工程的概念,在方法学上提出结构程序设计方法,软件的研制从作为一门艺术转向科学化和工程化。研究的对象从顺序程序发展到并行程序。为了适应计算机网的需要,出现了两络软件。为了加强对软件开发的支持,70年代中期出现了软件支援环境。80年代随着微型计算机的迅速发展,促进了分布式应用和分布式软件的研制。由于应用领域的需要,出现了嵌入式软件,其特点是受制于它所嵌入的宿主系统(如武器系统、通信系统)。

软件分类 按照功能和服务对象来分,软件可分为系统软件、支援软件和应用软件三类。①系统软件。它位于计算机系统中最靠近硬件的内层,供各种用户使用,包括操作系统、汇编程序、编译程序、两络软件以及各种服务程序等。②支援软件。它旨在提供开发软件的各种工具,并将它们集成为整体性的系统,通过终端以交互方式给用户以友好的使用界面。例如,Ada语

言的软件支援环境包括环境数据库、接口软件和工具组,三者协同支援其他软件的开发。③应用软件。指特定应用领域专用的软件。

软件工程 用工程方法研制、维护和管理软件的过程和有关技术。软件工程是1968年提出来的,它的主要对象是大型软件。用工程方法研制软件,可分为需求定义、设计、实现和测试四个阶段。软件维护可分为改正性维护、适应性维护、完善性维护和预防性维护四类。在软件研制和维护过程中,文件起着重要的作用,它记载着各阶段产生的规格说明,各种决策以及决策的依据,是理解使用和维护软件所不可缺少的资料。

发展趋势 随着“信息革命”的兴起,软件在计算机系统和其他科学技术中的地位日益重要,软件产业已或为一种蓬勃发展的新兴产业,但仍远远不能适应社会信息化的需要。

为了从根本上解决软件的质量和可靠性问题,提高生产率和改进功能,必须建立软件理论,发展新型软件技术。软件与新型计算机系统结构、超大规模集成电路技术及新型材料相结合,有助于研究智能化和知识化的计算机系统。工程化和形式化相结合,可以推动软件自动化研究,从根本上改善软件开发环境,提高劳动生产率。

(陈增武)

jisuanji tuxingxue

计算机图形学 (computer graphics) 研究用计算机处理图形的原理、方法和技术的学科。它包括图形的表示,图形的输入,图形在计算机内的变换、生成和在各种图形设备上输出,以及利用图形信息进行人机交互等等。随着科学技术的发展,计算机能处理的图形的含义也越来越广泛,不仅是能用数学方程或几何参数描述的图形,也包括图像、图片等。处理图形也不仅是在显示器屏幕上显示或在绘图机上绘出线框图,而且能够利用计算机生成高度真实感的立体图像和动态图像。因此,计算机图形学是一门正在发展中的与计算几何、图像处理与识别等学科关系密切的综合性交叉学科。

发展简史 计算机图形处理的核心是计算机显示。在阴极射线管(CRT)运用之后,显示技术就得到迅速发展,而在计算机产生以后不久,显示技术就开始和计算机结合起来。1950年由计算机控制的图形显示器已能够产生简单的图形。1953年实时控制的计算机显示系统SAGE系统投入使用。最早用于计算机辅助设计(CAD)的是美国麻省理工学院的SKETCHPAD系统(1962年)。此后,图形显示技术迅速发展。在早期,计算机图形学赖以存在和发展的物

质基础是随机扫描显示器和数字绘图机,它们都是矢量型设备(基本图形元素是矢量或线段),当时计算机图形学研究的基本问题诸如图形的生成、变换、裁剪、消去隐藏线以及人机交互功能都与此密切相关。80年代光栅显示技术的发展大大降低了设备费用,使图形处理技术的应用遍及科学技术的许多领域。此时还出现了许多其他显示器件,象液晶显示、激光显示等。随着光栅显示技术的发展,图形处理的许多新课题也被提了出来,如消去隐藏面、光照明模型和阴影处理等。近几年来,自然景物的模拟、计算机动画等已引起图形学界的普遍兴趣。因此,计算机技术和图形硬件及应用领域的发展推动了计算机图形学的发展,反之,计算机图形学的发展也促进了专用图形硬件和应用的发展。

学科内容 计算机图形学的主要内容有:

(1)图形的输入及交互技术:研究如何把要处理的图形输入到计算机内,以及如何利用图形进行人机交互通信。

(2)图形的生成、显示和输出:利用图形在计算机内的数据生成相应的图形在显示器屏幕上显示或在绘图机、打印机等图形设备上输出。

(3)图形的组合、分解、变换和运算:用简单图形组或复杂图形和把复杂图形分解为简单图形,对图形进行几何变换和非几何(灰度、色彩等)变换,以及图形间的和、差、交等运算。

(4)研究各种新的图形处理问题:诸如自然景物的模拟、动态显示、智能图形处理等等。

应用与前景 计算机图形学的应用领域和发展前景极广,主要有:

(1)计算机辅助设计:许多工程设计均涉及图形信息,例如汽车、飞机、船舶的外形设计,建筑物的外形、色彩、布局及室内装饰设计,各种机械结构的形状及表示其力学性能的各种前线,各种线路、管道的布局、布线设计,衣片及其他裁片的排料、落料,集成电路和各种电子器件的设计等,这些均可借助于图形显示及交互技术进行计算机辅助设计,有许多场合可与计算机辅助加工相连接。

(2)计算机模拟与仿真:利用实际景物、器件的计算机模拟与仿真,可以进行诸如模拟驾驶员训练、模拟打靶训练、模拟机械加工过程或机器人的动作过程等。

(3)计算机美术与计算机动画制作:这些虽然发展的时间还不长,但在国内外均已引起重视。

此外,它还可用于各种实时过程的监控,情报资料、办公文件中图形信息的计算机处理,遥感图像的处理与识别,计算断层摄影(CT)立体图像的生成,分子模型的立体显示等。从这一切不难看出计算机图形学的应用领域十分广泛,其发展前景更是十分诱人。

参考书目

金廷赞. 计算机图形学. 杭州: 浙江大学出版社,

1988

(金廷赞)

jisuanji wangluo

计算机网络 (computer network) 多台自治计算机的互连系统。自治指各计算机能独立运行, 彼此无明显的主从关系。互连的目的是实现计算机间的信息交换。

构成 计算机网络是信息传输和信息处理两者功能的结合, 由通信子网和用户资源两部分组成。①通信子网: 承担数据的传输、转接和通信处理, 由传输装置(含线路)、数据转接和通信处理机及相应的协议软件和通信软件组成; ②用户资源: 实现数据处理, 向用户提供服务, 又称用户资源子网, 包括主机、终端设备及其软件、硬件资源。

功能 利用计算机网络可以实现以下功能: ①数据和文件的传输: 如提供多种信息业务、电子邮件等; ②软件资源共享: 如数据库、工具和应用软件的共享; ③硬件资源共享: 如大型机、巨型机处理能力和特殊外部设备的共享, 并可按任务或计算机所在地区的时差实现负荷分散和均衡; ④提高可靠性: 个别计算机出现故障, 可改用网内别的或冗余的计算机访问网络资源。

交换方式 交换是指在两个或多个结点之间建立暂时性的通信线路(或链路)。交换方式有电路交换和存储交换两类。后者又分报文交换和分组交换。

(1) 电路交换: 交换机在主叫用户和被叫用户之间建立一条端到端的物理的数据传输通路。这种方式的优点是信息传输延迟小, 在用户间可提供“透明”的通路(即编码方式、信息格式及传输控制规程都不受限制); 其缺点是电路接续时间长, 线路利用率低。它适用于远程作业录入、文件传输和实时会话业务。

(2) 报文交换: 采用“存储—转发”方式, 交换机把来自用户的每份报文暂存在存储装置内, 确定路由后, 等待路由空闲时再把整个报文发送出去。其优点是: 交换机兼有信息处理能力, 可以进行速度、代码、格式的变换, 满足不同类型的终端互相通信; 可以提高线路的利用率。缺点是报文传输时间长, 要求交换机存储装置容量大。它适用于传输数据短的业务。

(3) 分组交换: 以规格化了的较规的报文分组进行交换、传输。每个分组除待传的数据外, 还包含地址和控制信息及可能附如的差错控制信息。通信子网内的分组交换机要处理所收的每一分组并选择路由, 再把分组转发到后续交换机去, 直到收信终端。然后按顺序把分组拼成整个报文。这种方式, 只有当一个分组在

链路上传输的瞬间才占用该链路, 因而提高了线路利用率, 缩短传输延迟, 提高传输质量。它适用于传输突发式的数据。

分类 根据网络作用的地理范围, 计算机网络分广域网、城域网和局域网。

(1) 广域网。也称远程网。作用范围在几十到几千千米, 可覆盖一个国家, 或实现国际、洲际网络互连。如美国的 ARPANET、各国的电路交换或分组交换公用数据网(见分组交换公用数据网)以及行业的专用网络(如世界气象组织、国际航空订票等)等。

(2) 城域网。覆盖大城市及市郊(直径在 50km 左右)的高速共享通信网, 传输速率在 50Mb/s 或以上。支持数据、数字化语音和视图传输。用于连接大型机和局域网, 将来也可互连宽带综合业务数字网(BISDN)。20 世纪 80 年代后期提出的分布队列双总线网(DQDB), 是采用双向总线, 同步传送时间片。DQDB 网内每站有待发分组的申请队列, 有对网内各站预约请求的时间片的计数机构, 及总线上空闲时间片计数机构。每站能按全网各站提出预约请求的先后, 有次序地占用总线上空闲的时间片来传输数据。网络还提供以 125 μ s 为周期的等时间片, 供数字化语音的传输。这种网络具有信道利用率高、访问延迟小等优点。

(3) 局域网: 局限于部门专用的较小通信范围的计算机网络(见局域网)。

分层 计算机网络是一个庞大而复杂的系统, 从结构角度把网络按功能在逻辑上划分为若干层, 每一层在低层所提供的服务的基础上, 增如其功能, 向高层提供更完善的服务。国际标准化组织把开放系统互连参考模型划分成七层, 明确规定了各层的功能和服务(见开放系统互连), 以利于各层的设计和实现。随着超大规模集成电路的发展, 商品化网络的低层功能大都已由固化实现。20 世纪 80 年代后期, 已推出了一些高速的两层和运输层的协议控制器芯片, 促进了网络通信控制器和网络互连器功能的提高。

网络互连 两个(或以上)网络通过中继系统实现互相连通。按中继系统所处层次的不同, 可分为转发器、网桥、路由器和网关。①转发器。物理层的中继系统。连接网络的二段传输媒体(如同轴电缆), 以延伸同一网路的作用范围。②网桥。数据链路层中继系统。含单一的逻辑链路控制规程, 但可有不同的介质控制及物理层规程。③路由器。网络层中继系统。含单一的网络规程, 但可有不同的数据链路层和物理层规程。④网关。任何高于网络层的中继系统, 即互连不同高层协议的网络。

发展 早期的计算机通信方式是面向远程终端的联机系统, 由主机系统、通信处理机、调制解调器、多

路复用器等设备及终端经电话网的租用专线或交换线路连成网络。1969 年底,美国国防部远景规划局的 ARPA 网络投入运行,开创了分组交换网的新纪元。70 年代美、英、加、日等国纷纷组建分组交换公用数据网,且不断扩大规模。70 年代后期推出了总线式以太网。80 年代又推出多种媒体访问控制方式的局域网和高速光纤网络。80 年代初法国开始了第一个综合业务数字网 (ISDN) 的试验网,把声音、数据、图像等多种信息,转变为数字化代码进行传送,这样可综合多种信息传输业务于一个数字网传送,既方便了用户,也提高了网络经营者的经济效益。ISDN 在英、法、比等欧洲国家发展较快,随之美国也实现了 ISDN 的试验网。以高速光纤网为交换主体的宽带综合业务数字网 (BISDN) 也正在发展之中。

(张德馨)

jisuanji xitong anquan yu baomi

计算机系统安全与保密 (security and secrecy of computer system) 泛指计算机系统的

设备安全、数据保护和数据保密。现代社会中计算机在社会事务管理、生产过程控制、资金转移、武器控制和军事指挥等方面的作用日益增加。与此同时通过计算机谋取经济和情报利益的暗害活动日益增多。某些担负重任的计算机系统如果失效将造成重大损失。

使计算机系统受到安全威胁的因素有自然因素和人为因素两个方面:①自然因素。包括水、火、地震等自然灾害,温度、湿度、供电等物理环境的变化以及系统运行中的电磁辐射、串话、误码等自然现象。②人为因素。包括如编程、录入或管理上无意的失误和有意的据害,如对设备的物理损害,窃取存储媒体,未经授权地记录、复制、修改或销毁软件和数据,冒名输入文件和数据,用户或系统工作人员的越轨行为,软件中暗藏破坏因素,如“特洛伊木马”(Trojan Horse)和计算机病毒等。

这些损害或失误的后果可归结为:①主机、外围设备、通信设施或系统软件、应用软件等遭受损害,造成系统不正常运行或停止运行;②计算机系统所管理的文件、数据的完整性受到损害,或被泄露于未经授权者。

为防止这些损害发生和减轻损害后果而采用的技术和措施构成计算机系统安全和保密的具体内容。主要的安全保密措施如下。

(1) 物理环境方面的防范措施有:①防火、防水、防震、防腐蚀、防强电干扰等;②良好接地、稳压及不间断电源等要求;③机器安装的合理性及空调要求等(见计算机场地技术)。

管理方面的安全措施有:①建立机房管理及用机记录制度;②对重要的硬件、数据和程序建立备份;③定期维护和检查。

(2) 软件方面的保密措施有:①在操作系统级,严格使用权限的密码验证和管理,防止非法使用;②在数据库级,采用多级数据保密,防止数据被非法使用和修改;③在数据通信级,使用密文传送,防止报文失密;④在网络操作系统级,使用捕获非法报文和命令的软件,防止病毒软件的侵袭和远程盗窃共享资源等。

(叶又新)

jisuanji xitong jiegou

计算机系统结构 (computer architecture)

从程序设计者角度所看到的计算机的属性。指在计算机的层次结构中处于机器语言级的所有属性。

为解决程序的可移植性,1964 年 IBM 公司提出了系列机概念。计算机系统结构一词是 G. M. 阿姆德 (G. M. Amdahl) 当时按系列机的概念提出的。所谓系列机就是先设计一种系统结构,软件设计者在这种系统结构上设计系统软件,硬件设计者按照系列机内各档性能、价格的不同,采取多种不同计算机组织来实现这种系统结构。这样在系列机内某档机器上,用高级语言或汇编语言编写的程序,可以不加修改地运行于高档机器(即向上兼容)或后期推出的机器(即向后兼容)。由此成功地解决了软件要求计算机系统环境稳定与硬件技术迅速发展之间的矛盾。

系统结构中主要的是指令系统、数据表示及概念结构。概念结构是指计算机系统内中央处理器、主存储器、I/O 处理机(或通道)、设备控制器等之间的逻辑关系。

计算机系统结构作为学科,主要研究内容包括:软件和功能分配和对软件、硬件的界面确定,计算机系统结构对高级语言和操作系统的支持,并行处理技术及并行计算机系统,巨型计算机、智能计算机,计算机两网与分布式计算机系统,可靠性技术,计算机系统性能评价等。

(张德馨)

jisuanji yingyong

计算机应用 (application of computer)

一门研究如何使用计算机硬件和软件解决现实世界中各种问题的科学。计算机应用的核心技术是如何以计算机的方式表达世界中的各种问题,这也称表达模型。围绕各种问题的表达模型,形成计算机应用的各种理论、方法、技术和系统结构。

学科结构 计算机应用与计算机系统结构、外部设备、器件、软件和理论并列为计算机科学的子学科之一。计算机应用的内部可以按两种划分分类。①按应用的领域分类：计算机在第一产业，如农、林、渔业中的应用；计算机在第二产业，如电力、机械、化工、矿冶、建筑业中的应用；计算机在第三产业，如商贸、科研、教育、卫生业中的应用；以及计算机在军事和艺术领域中的应用。②按问题表达的模型分类：有科学计算、数据处理、计算机控制、计算机辅助设计（CAD）与计算机辅助制造（CAM）、计算机认知模拟等主要类别。其中，科学计算是研究如何用计算机寻找科研和工程问题中各种方程的数值解，主要以数学公式和计算方法为其表达模型和方法论；数据处理是研究如何用计算机存储、分类、检索、管理、统计、分析批量数据并作出决策，主要以数据库为其表达模型和方法论；计算机控制是研究如何用计算机采集和调节各种参数以获得目标的稳定输出，主要以控制理论为其表达模型和方法论；CAD/CAM 是研究如何用计算机综合出所需的形体和生产工艺，主要以计算机图形学为其表达模型和方法论；计算机认知模拟是研究如何用计算机模拟人类的感知、思维和问题求解过程，主要以人工智能为其表达模型和方法论。

发展过程 20 世纪 40、50 年代，科学计算是主要的计算机应用领域，但到 60、70 年代，数据处理和计算机控制成了主要的计算机应用领域。到 80、90 年代，计算机辅助设计与制造、计算机认知模拟进入计算机应用的主要领域。数据处理、CAD/CAM、计算机控制三领域共占计算机应用中 98% 的市场。从 80 年代以来，计算机图形/图像和人工智能这两类技术领导各类计算机应用系统的发展潮流，在界面形式、交互方式、数据存储、问题解决和系统结构等方面均打上明显的烙印。计算机应用发展的总趋势，是从单纯的数值计算，走向对人类多种智能行为的广泛的模拟。

意义和影响 计算机应用对当代人类社会的各方面均产生重大影响。它不仅大大改变人类在生产、贸易、管理、科教、文化等领域的活动方式，提高效率与质量，而且还促进许多新学科，如计算几何、计算数学、计算化学、计算物理学、计算生物学、计算天文学、认知心理学的形成和发展。随着深度和广度的迅速增加，计算机应用也已成为计算机科学的带头子学科之一。它所提出的问题及其在理论、方法、结构方面的成果，如专用集成电路，智能计算机，多媒体，面向对象方法，窗口系统，智能操作系统，人工神经网络，认知模拟理论，图形、图像、语音、中文输入输出设备等等，正有力地引导着计算机硬件、软件、理论和外围设备的发展

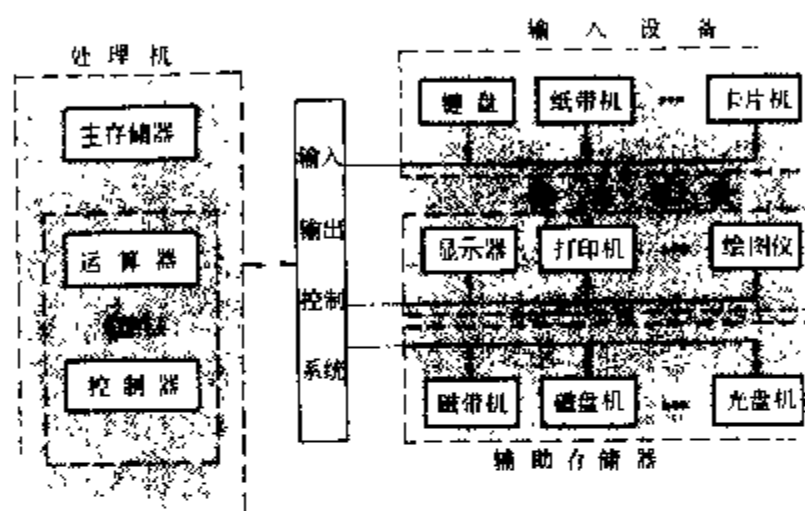
方向。

（潘云鹤）

jisuanji yingjian

计算机硬件 (computer hardware) 计算机系统中由电子、机械和光电器件等组成的各种功能部件和外围设备。这些部件和设备根据计算机系统结构要求组成有机的整体，称计算机硬件系统。硬件系统主要完成信息的变换、储存、传输和处理等功能，它是计算机实现自动、高速及可靠工作的物质基础。计算机硬件系统与计算机软件系统结合组成计算机系统。

计算机硬件由运算器、控制器、主存储器、输入设备、输出设备和辅助存储器等组成（见图）。



计算机硬件框图

运算器 计算机中执行各种算术运算和逻辑运算的部件，又称算术逻辑部件（ALU）。运算器将取自主存储器或内部寄存器的数据，按指令操作码的规定执行“加”、“减”、“乘”、“除”等四则运算或“与”、“或”、“非”、“移位”、“比较”等逻辑运算，运算结果存入主存储器或暂存内部寄存器。运算过程是在控制器控制下进行的。

控制器 按照计算机指令码的规定，使分布在不同空间的各功能部件能协调工作的定时控制机构。控制器对取自主存储器的指令进行译码，然后向各功能部件适时地发出执行该指令所需的微操作控制信号。控制器与运算器结合构成中央处理器（CPU）。根据控制信号形成方法的不同，控制器结构有硬联逻辑控制和微程序控制两种。

主存储器 存储二进制信息（包括程序和数据）的部件。主存储器中的信息以字节（8 个二进制位）或多个字节为单位，按顺序线性编址的一维结构形式组成，按地址随机存取，它能和运算器、控制器以及其他高速部件直接传送信息。主存储器的主要性能是存储容量和存取时间。主存储器和中央处理器结合构成计算机主体，或称主机。

辅助存储器 为了弥补主存储器容量不足而设的附加存储器。辅助存储器主要存放当前程序暂时不用而整个程序运行过程中需要的或用户不用而系统需要的大量文件信息、各种数据库、标准子程序库等。与主存储器相比,辅助存储器的主要特点是:存于辅助存储器中的程序和数据 CPU 不能直接执行和处理;必须从辅助存储器调入主存储器后, CPU 才能执行和处理;辅助存储器存取速度较慢,而且是顺序存取的,存取时间不确定,但它的存储容量大,单位容量的价格较低。辅助存储器在专门的硬件和软件支持下构成的虚拟存储器是一项提高计算机系统性能的有效技术措施。辅助存储器主要由磁带、磁盘、光盘等组成。

输入设备 用于把载体某种媒体(如纸带、卡片、磁表面等)上的信息(数据、程序、文字、图形、图像及声音等)变换成计算机能接受、识别和处理的信息形式。如纸带成卡片上穿孔或不穿孔,磁表面上的磁化或不磁化,或磁化的不同方向分别表示“1”或“0”。载有信息的媒体通过相应的装置将信息变换成电信号为计算机所接收,并存入存储器。输入设备种类繁多,常用的有键盘、纸带输入机、软磁盘机、数字化仪以及实时控制系统和数据采集系统中的模拟/数字(A/D)转换装置等。

输出设备 用于把计算机中的二进制电信号转换成用户能识别和理解的并能在某种媒体上记录或显示的信息形式。输出的信息形式可以是十进制数、字符、文字、表格、图形、图像和声音等。常用的输出设备有:打印机、纸带和卡片穿孔机、绘图仪、阴极射线管(CRT)显示器以及实时控制或过程控制中数字/模拟(D/A)转换装置等。

输入输出控制系统 控制输入输出设备与计算机之间协调工作的部件。主要功能是:检测输入输出设备的状态;向设备发出操作命令;控制数据缓冲和传送;变换数据格式;设备的选择和优先权仲裁等。根据系统结构要求和输入输出设备的特点,输入输出控制有三种方式:即程序控制方式、直接存储器存取(DMA)以及设置专门的输入输出处理机。

计算机硬件正向微型化、智能化方向发展,大规模集成电路技术的发展,提高了计算机硬件系统的固化层次和功能。新的系统结构和新的算法的提出以及应用领域的进一步开拓是推动计算机硬件发展的重要因素。

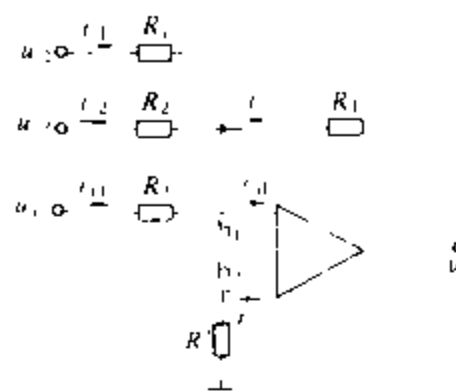
(陶 欣)

jiafaqi

加法器 (adder) 把运算放大器(简称运放)

连接成能实现若干个电压相加的放大器。它广泛用于多个信号的综合电

路中,是进行算术运算的基本单元之一。如图所示,三个电压 u_1 、 u_2 、 u_3 各自串联一个电阻接到运放的反相输入端 b_1 , 故该电路又称反相加法器或倒相加法器。图中 R'



反相加法器

$= R_1 // R_2 // R_3 // R_4$, $//$ 表示电阻并联。

工作原理 设图中的运放 A 为理想元件,即:开环电压放大倍数 $A_{uo} \rightarrow \infty$, 差模输入电阻 $R_{id} \rightarrow \infty$, 输出电阻 $R_o \rightarrow 0$, 共模抑制比 $K_{CMR} \rightarrow \infty$, 失调、漂移均为零,频带宽度 $BW \rightarrow \infty$, 则当输出电压 u_o 为某一定

值时,运放的差模输入电压 $u_{b2b1} = \frac{u_o}{A_{uo}} \rightarrow 0$, 即运放的两个输入端 b_1 、 b_2 几乎同电位,故称两输入端为“虚短”,即两输入端好像短路,而实际上并非短路。由于同相输入端 b_2 经 R' 接地,故 b_2 处于地电位,运用 b_2 与 b_1 的“虚短”概念, b_1 点又称为“虚地”点。当分析 b_1 或 b_2 点的电压关系时,常利用“虚短”概念。

由于图中运放的差模输入电阻 $R_{id} \rightarrow \infty$, 所以,在输入电压信号作用下,自 b_1 (或 b_2) 流入运放的电流 i_{b1} (或 i_{b2}) $\rightarrow 0$, 故又称 b_1 与 b_2 间为“虚断”,即 b_1 与 b_2 间好像断路,而实际上并没有断路。当分析 b_1 (或 b_2) 点上的电流关系时,常利用“虚断”的概念。

因 b_1 点为“虚地”,故 $u_{b1} \rightarrow 0$, 得 $i_{11} = \frac{u_1 - u_{b1}}{R_1} \approx$

$\frac{u_1}{R_1}$, $i_{12} \approx \frac{u_2}{R_2}$, $i_{13} \approx \frac{u_3}{R_3}$ 。因 b_1 与 b_2 间为“虚断”,故 i_{b1}

$= 0$, $i_1 = i_{11} + i_{12} + i_{13} = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3}$ 。因 $u_o = -i_1 R_4$, 故

得 $u_o = -\frac{R_4}{R_1} u_1 - \frac{R_4}{R_2} u_2 - \frac{R_4}{R_3} u_3$ 。若 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, 则

得 $u_o = -(u_1 + u_2 + u_3)$ 。式中负号表示倒相相加。若适当选择 R_4 、 R_1 、 R_2 、 R_3 之值,则可得倒相放大加法器。如果在电路图的后面串联一个倒相器,则可得非倒相的加法器,于是: $u_o = u_1 + u_2 + u_3$ 。

(何金茂)

jianliuji

检流计 (galvanometer) 检测微小电流、电压和电量的高灵敏度的磁电系指示电表。它包括普通检流计、冲击检流计、振动检流计和振子等。

检流计 高灵敏度的检流计用量丝或张丝支承可

动部分如图 1 (a) 所示, 由光标显示读数。检流计的
光指示器读数装置有两种: 光系统与标尺都放在仪器
内部, 叫内装式或光点检流计, 如图 1 (b) 所示; 光
系统和标尺是单独的部件, 使用时安装在仪表的外部,
叫分装式或镜式检流计, 如图 1 (c)。

使用检流计时要注意三个使用参数: ①外临界电
阻; ②电流常数; ③阻尼时间。对于图 1 (a) 的结构,
其动圈无短路的金属框架, 其阻尼力矩由动圈本身提
供, 故可动部分的运动状态与检流计外接电路的电阻
有关。使检流计工作在临界阻尼运动状态下的外接电

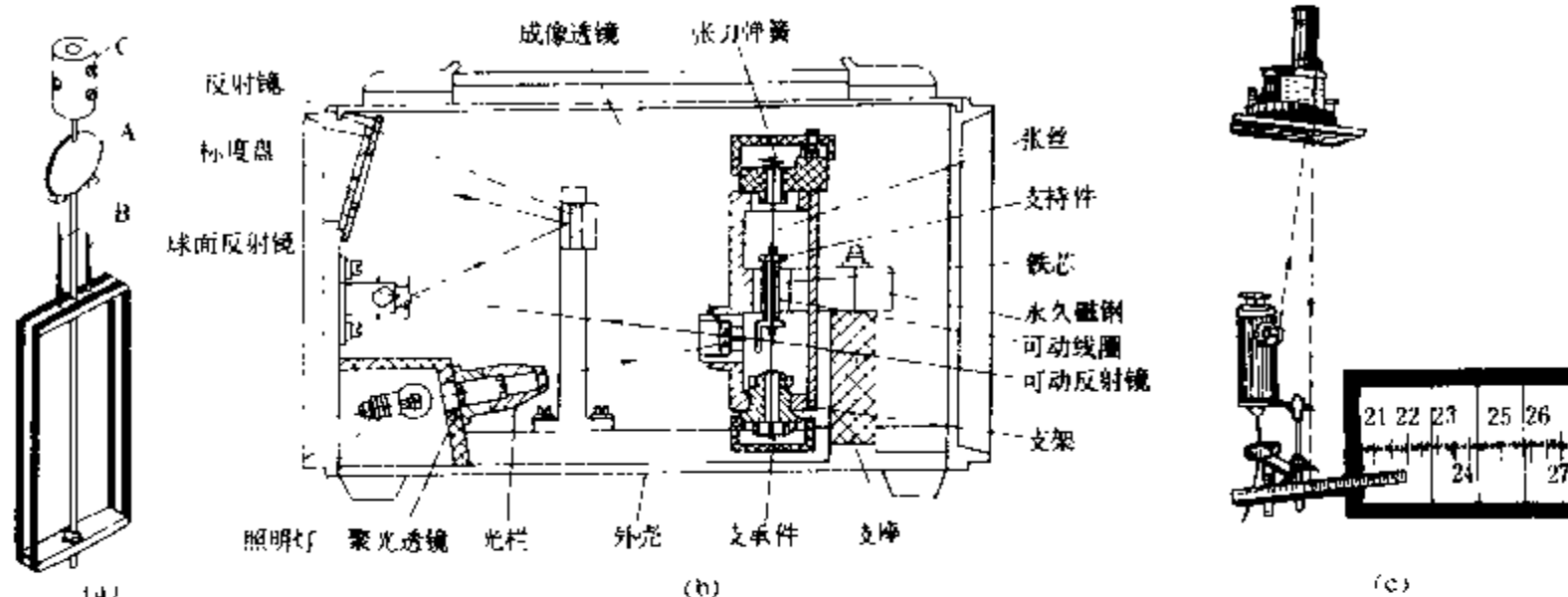


图 1 检流计结构

(a) 可动部分; (b) 内装式; (c) 分装式

阻数值称为外临界电阻; 使检流计可动部分偏转每单
位分格所需电流数值叫检流计的电流常数; 它的倒数
是检流计的电流灵敏度。自由振荡周期是指当检流计
的指示偏转到满刻度时断开外电路, 从这一瞬时起检
流计可动部分摆动一周所需的时间。通常关心的是阻
尼时间, 即检流计工作在临界状态下, 从最大偏转切断
电流开始到指示器回到零位时所需的时间。

使用检流计应注意事项有: ①安装时应按正常工
作位置安放好, 有水准仪的检流计必须先调好水平, 然
后检查检流计偏转是否良好; 使用前须将光点调到零
位。②使用时按说明书选好外临界电阻, 使其工作在近
于临界状态。③测量时, 灵敏度应逐步提高; 当流过检
流计的电流大小不知时, 应串接一高值保护电阻, 以避
免烧坏检流计。④搬动检流计时, 必须将开关放在“短
路”位置上, 或将线圈机械止动器锁上; 如无短路开关

和止动器, 可用导线将检流计两接线端子短接。

冲击检流计 通过读出其可动元件第一次摆动的
振幅来测量电量值的一种检流计。为增大可动部分的
转动惯量通常在动圈上安装负荷件, 也有加宽动圈的,
如图 2 (a) 所示。在脉冲电流作用后, 可动部分偏转
到某一最大偏转值 α_m , 如图 2 (b), 电量 Q 可按下式
计算: $Q = C_Q \alpha_m$, 式中 C_Q 为冲击检流计的冲击常数,
其单位为库仑每格 (C/格)。冲击常数与冲击检流计外
电路的闭合电阻有关, 在测量冲击常数和测量电量时,
外电路闭合电阻不允许变化。

振动检流计 调整可动元件固有频率, 使之与被
测量或被检测电流的频率发生谐振的一种检流计。是
用来检测交流小电流 (或电压) 的检测仪表。振动检流
计的可动部分可以是动圈、动磁铁或磁化动片, 其特
点是: 可动部分轻, 体积小, 以减小转动惯量; 用反作
用力矩较大的张丝以增加固有振荡频率, 使之与被测交
流的频率谐振。

振动检流计常用于工频测量, 在交流补偿器和电
桥中作指零仪, 其谐振频为 $50 \pm 5\text{Hz}$, 对高频谐波有一
定的抑制作用。电压灵敏度约为 $15 \times 10^{-5} \text{V/mm}$, 电
流灵敏度约为 $10 \times 10^{-8} \text{A/mm}$ 。由于其灵敏度低, 多被
阴极射线平衡指示器和电子式指零仪替代。

振子 可动部分的质量和转动惯量都很小的检流
计, 也称振动子。振子是光线示波器的关键部件, 其结
构如图 3 所示。在振子里, 由张丝支承的可动部分 (动
圈或回线) 被封装在圆柱形框架里, 再封装在外部套

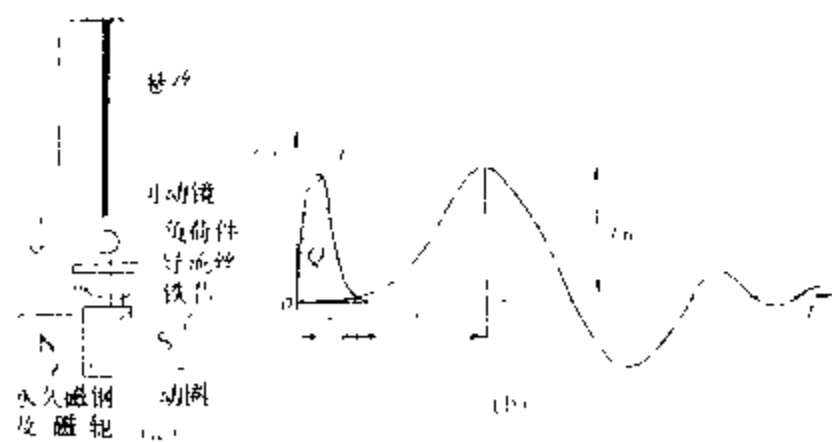


图 2 冲击检流计的结构及特性曲线

(a) 结构; (b) 特性曲线

管内。

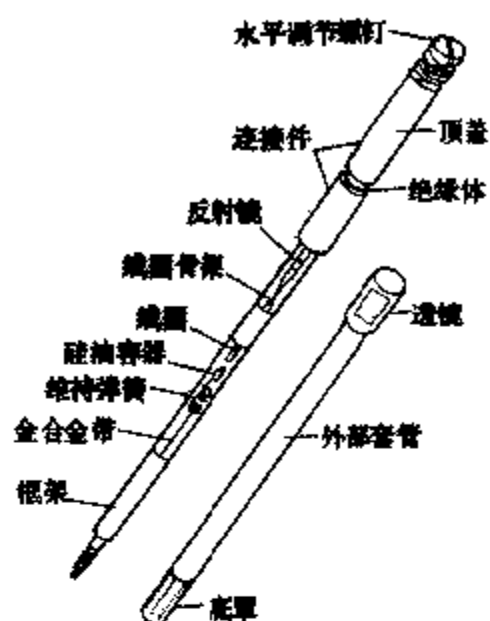


图3 振子结构

下的交流。

在多点光线示波器中, 可将多个(最多达60个)振子并排地装入记录仪的共磁部件中, 当动圈中通过被测交变电流时, 从振子上小镜反射出的光点经过多次反射在感光纸上移动, 从而记录下被测信号的波形。振子的应用范围通常是从直流到8000 Hz 以

(高光润)

jianfaqi

减法器 (subtractor) 把运算放大器连接成能实现若干个电压相减的放大器。它广泛应用于多个信号的综合电路中, 是进行算术运算的基本单元之一。

图1(a)为用一个运算放大器(简称运放)实现的减法器电路。设运放为理想元件, 则由叠加原理得

$$u_o = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_{i2} - \frac{R_2}{R_1} u_{i1}$$

当 $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$ 时, 上式可化简为 $u_o = \frac{R_2}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$ 。可见: 图1(a)中的电路可实现两个输入信号 u_{i2} 和 u_{i1} 的差值放大, 故又称差值放大器, 其放大倍数为 $\frac{R_2}{R_1}$ 。

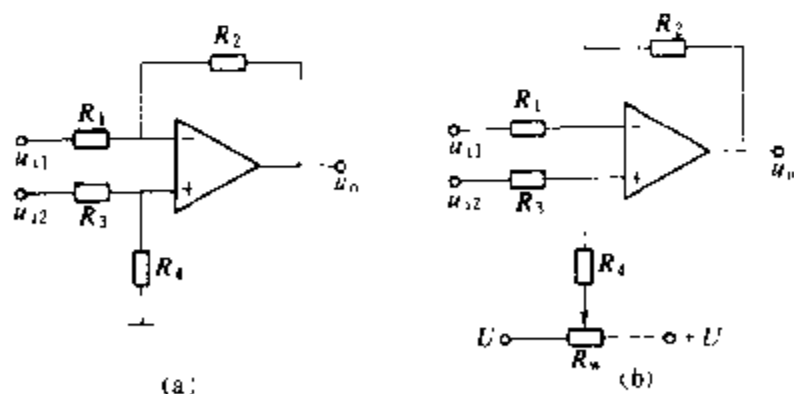


图1 用一个运放的减法器电路

(a) 用一个运放的减法器电路; (b) 带调零电位器的电路

图1(a)电路中要求有两对完全相等的电阻, 对挑选电阻和调试带来不便。如果两对电阻不能完全相等, 则当 $u_{i2} = u_{i1} = 0$ 时, 输出电压 u_o 将不等于零。为

此, 电路中增加一个调零电位器 R_w 。 R_w 两端施加一个较低的正负电源 U , 调节 R_w 的滑动触点, 即可使当 $u_{i2} = u_{i1} = 0$ 时, 达到 $u_o = 0$, 如图1(b)所示。

如果减数和被减数有不同的放大倍数, 则可采用图2所示的电路。图2为实现 $3u_{i2} - 2u_{i1}$ 运算的减法电

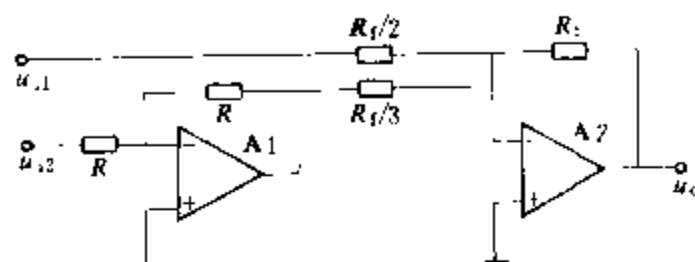


图2 用二个运放实现 $3u_{i2} - 2u_{i1}$ 的减法电路

路。把减数 u_{i1} 先经运放 A2 倒相放大 2 倍, 被减数 u_{i2} 先经 A1 倒相, 再经 A2 倒相放大 3 倍, 从而实现了 $u_o = 3u_{i2} - 2u_{i1}$ 的运算。

(何金茂)

jiangjie guanceqi

降阶观测器 (reduced-order observer)

利用系统输出量和输入量来观测或重构成估计必要的和足够的部分状态的装置, 也称降维观测器。无论是调节器还是跟踪问题, 实现最优控制都必须取得全部状态变量以实施状态反馈, 因此要构造状态观测器。但是, 构造能观测全部状态的“全阶”观测器是复杂的, 也可构造较为简单的降阶观测器。

设系统的状态向量是 n 维的, 控制向量是 p 维的, 输出向量是 q 维的, 系统的输出矩阵满秩, 状态观测器理论指出, 状态向量的 q 个分量可以由能够测量到的输出向量直接产生, 其余的 $n - q$ 个状态变量则由降阶观测器来估计或重构。

(于 渤)

jiāoliú

交流 (alternating current, AC) 量值和方向随时间作周期性变化, 且一周期内平均值为零的电流。交流这两个字义常和其他名词一起构成复合词, 例如交流电压, 交流电路等。交流瞬时值 i 的数学表达式为 $i = g(t)$, 其中, 时间函数 $g(t)$ 有如下两个性质

$$(1) \quad g(t+T) = g(t+2T) = \dots = g(t+nT) = g(t)$$

式中 T 为瞬时值重复变动的最小时间间隔, 称为周期, 单位为秒(s)。周期的倒数 $f = \frac{1}{T}$ 为单位时间内波

形重复的次数,称为频率,单位为赫兹,简称赫(Hz)。

$$(2) \int_0^T g(\tau) d\tau = 0, \text{ 即一周期内平均值为零。}$$

波形是正弦的交流,称为正弦交流,是最常见的交流。

动力用电一般都采用交流电源。中国和欧洲国家工业用电的标准频率一般定为 50 Hz,称工频。美国和北美国家则采用 60 Hz 作为惯用的工频。在飞机上为了减轻电机重量,常采用 400 Hz。科技和工程上遇到的交流,其频率可由 10^{-4} Hz 到 10^{12} Hz。

电力系统中通常用同步交流发电机作交流电源,它是根据电磁感应定律制成的。发电机将热能、水能、风能等不同形式的能量转换为电能。交流输电的一个突出优点是可以利用变压器方便地改变交流电压的大小。这样,就可以用适中的电压发电,再用高电压进行高效率的长距离输电,然后用合适的低电压配电和用电。直流输电不能用变压器来改变电压,仅少数长距离电力线路采用直流输电。这时,发电机发出交流电压,经变压器升压后,用整流器将交流电能变为直流电能,作远距离传输。然后用逆变器把直流电能变为交流电能,再用变压器降压。

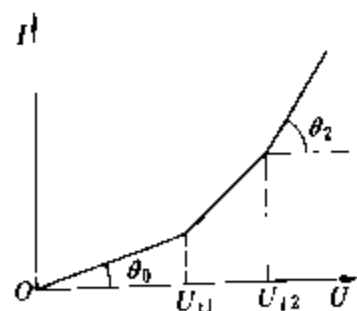
交流除了能高效率传输电能外,交流异步电动机在结构上也比直流电动机简单,在工业中得到了广泛的应用。在信息传输方面也常用到交流,例如载波通信用的载波电路就是利用了交流。

(陈允康)

jiāoliú diànliú jīzēngdiǎn shíyàn

交流电流激增点试验 (AC abruptly increasing point test) 由交流电流—电压特性来鉴定电机绕组绝缘老化程度的一种试验方法。

对于绝缘老化或浸渍不充分的电机绕组,流经绝缘的交流电流 I 与施加在绝缘上的电压 U 之间的典型特性曲线如图所示。当电压较低,在 $U < U_{11}$ 时,绝缘中没有放电, I 随 U 成正比地增加。当电压达到 U_{11} 时,局部放电电压较低的一些气隙开始放电,随着电压的上升,电流以较快的速度增加。电压进一步增加时,更多的气隙发生放电。当电压到达 U_{12} 后,放电程度剧增,随电压的上升,电流以更快的速度增加。对应于 U_{11} 和 U_{12} 的点分别称为第一、第二电流激增点。绕组的击穿电压与第二电流激增电压间存在一定关系。对发电机绕组,击穿电



$I-U$ 特性曲线

压约为 U_{12} 的 2.3 倍。

由第二激增点电流上升率的增长倍数 $m_2 = \tan \theta_2 / \tan \theta_0$, 电流增加率 $\Delta I = (I - I_0) / I_0 \times 100\%$ (I 为绕组在额定电压 U_n 下的实际电流, $I_0 = U_n \tan \theta_0$), 以及根据 U_{12} 预测的击穿电压可以判断电机绕组绝缘的老化程度。当 $m_2 > 1.6$, 且 U_{12} 小于绕组额定电压 U_n 时; 或由 U_{12} 预测的击穿电压小于 $(2.5 \sim 3)U_n$ 时; 或 ΔI 超过 $8.5\% \sim 12\%$ 时, 认为绕组绝缘已老化。

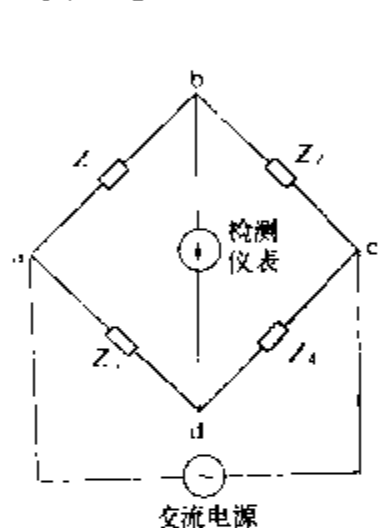
(谈克雄)

jiāoliú diànqiáo

交流电桥 (alternating current bridges)

由电阻、电容、电感等标准元件组成用于测量交流电参数的电桥。也用于测量电参数的残量(如电阻时间常数、电容损耗角)以及转化为电参数的一些非电量。

交流电桥的原理接线图如图所示。由 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 四个阻抗组成电桥的四臂。电桥的一对顶点(例如 a 和 c)间,接以正弦交流电源;另一对顶点(例如 b 和 d)间,接入检测仪表。



交流电桥原理接线图

当检测仪表指零,即 b 和 d 两顶点间没有电位差时,桥路达到平衡状态。这时,四臂阻抗间的关系为 $Z_1/Z_2 = Z_3/Z_4$ 。交换电源和检测仪表的位置,此关系仍成立。

若令 $Z_1 = z_1 e^{j\varphi_1}$, $Z_2 = z_2 e^{j\varphi_2}$, $Z_3 = z_3 e^{j\varphi_3}$, $Z_4 = z_4 e^{j\varphi_4}$, 其中 z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 分别是各桥臂阻抗的模, φ_1 、 φ_2 、 φ_3 、 φ_4 分别是各桥臂阻抗的辐角,于是平衡方程式可改写做 $z_1/z_2 = z_3/z_4$, $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$ 。这表示要使桥路能达到平衡状态,各臂阻抗的模间和辐角间必须有一定配置关系。此外,为满足上述两方程式以便电桥达到平衡状态,一般要反复调节其中两个标准元件。平衡电桥的特点是平衡状态不受电源电压高低的影响。

测量用桥路的结构方式是使其中三个臂为标准阻抗元件,第四臂为待测阻抗。但在组或实际桥路时,为简化结构并提高其工作性能,常尽量使电桥的一些臂由接近理想情况的标准元件,例如用残量很小的纯电阻或纯电容充任。

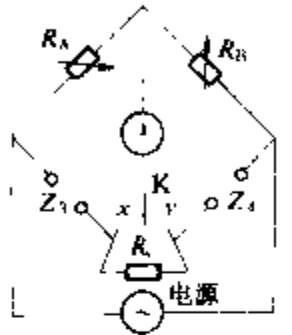
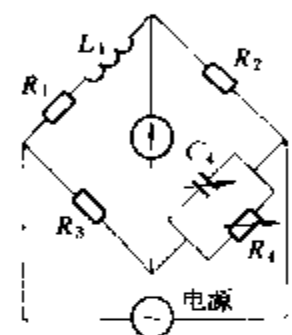
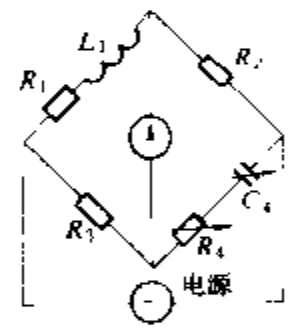
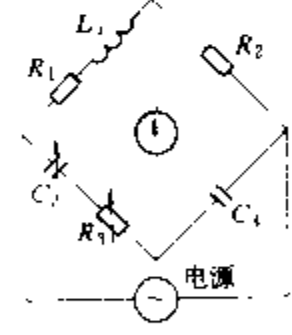

交流电桥所属各桥臂对测量所起的作用可看作是:在一个桥臂处接入待测量阻抗,其他三个由标准元件组成的桥臂中,由其中两个相邻的桥臂提供准确的面定(或可变)电压(或电流)比值,而剩下的一个桥

臂则是作为与待测量进行比较的标准量。

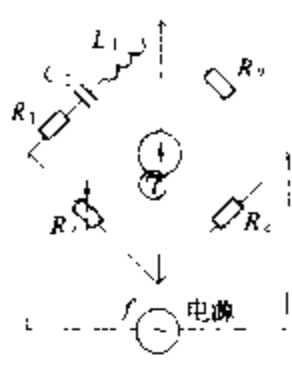
由正弦交流电源供电的用标准元件组成的交流电桥,产生于19世纪80年代。到20世纪50年代止的半个多世纪间,曾出现不下数十种用于不同测量目的的

电桥,它们大多以发明者的姓氏命名。这些电桥统称为经典交流电桥。受限于组成桥路所用标准元件的准确度,经典交流电桥的测量误差不易降低到 1×10^{-4} 以下。50年代以后,大部分经典交流电桥为新发展起来

常见的经典交流电桥

桥路结构	说 明	平 衡 方 程 式	注
	<p>用于比较同性质的阻抗,例如被测阻抗$Z_4 = R_4 + jX_4$,则接在Z_3处的标准元件必须与Z_4有相同性质,即Z_4为容性,Z_3也须为容性;Z_4为感性,Z_3也应是感性,方能使电桥达到平衡</p>	<p>如被测为电感,即$Z_4 = R_4 + j\omega L_4$,则必须$Z_3 = R_3 + j\omega L_3$,如此有$L_4 = (R_B/R_A) L_3$,$R_4 = (R_B/R_A) (R_3 + R_C)$,此公式假定开关$K$在$y$处。</p> <p>如被测为电容,即$Z_4 = R_4 + \frac{1}{j\omega C_4}$,则必须$Z_3 = R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}$,如此$C_4 = (R_A/R_B) C_3$,$R_4$同上</p>	平衡条件与电源频率无关
	<p>简称麦克斯韦电桥,主要用于以电容C_4为标准来测电感L_1,即在此桥路中R_1、L_1为待测之量,其他元件都是标准元件。</p> <p>自然也可以L_1为标准测C_4</p>	<p>设被测为电感L_1,其电阻为R_1,电桥平衡时,有</p> $L_1 = R_2 R_3 C_4$ $R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}$ <p>电感线圈的品质因数</p> $Q = \frac{\omega L_1}{R_1} = \omega C_4 R_4$	平衡条件与电源频率无关
	<p>此桥路与麦克斯韦电桥的区别在于:Z_4臂由C_4、R_4并联改为两者串联。也是主要用于以电容C_4为标准测电感,特别是带铁芯的电感,从而计算铁芯的磁导率和铁芯损耗</p>	<p>设被测为电感L_1及代表电感线圈铜损和铁芯损耗的电阻R_1,平衡时</p> $L_1 = R_2 R_3 \frac{C_4}{1 + (\omega C_4 R_4)^2}$ $R_1 = R_3 R_4 \frac{R_2 (\omega C_4)^2}{1 + (\omega C_4 R_4)^2}$ <p>电感线圈品质因数: $Q = \frac{1}{\omega C_4 R_4}$</p> <p>如$Q \gg 10$,则有</p> $L_1 = R_2 R_3 C_4, R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}$	平衡条件与电源频率有关
	<p>也用于测电感</p>	<p>设被测为L_1与R_1,则有</p> $L_1 = R_2 R_3 C_4, R_1 = \frac{C_4 R_2}{C_3}$	平衡条件与电源频率无关
	<p>主要用于研究介质材料的性质,特别是在高电压下的介质损耗或电容损耗角,例如变压器油,高压电容器和电容套管的损耗角</p>	<p>被测电容为C_2,其损耗以串联电阻R_2表示。电桥平衡时,有</p> $C_2 = \frac{R_3}{R_1} C_4, R_2 = \frac{R_1}{C_4} C_3$ <p>C_2的损耗角δ的正切为</p> $\tan \delta_{C_2} = \omega C_2 R_2 = \omega R_3 C_3$ <p>$\omega = 2\pi f$, f为电源频率。δ_{C_2}很小时,</p> $\tan \delta_{C_2} \approx \delta_{C_2}$	平衡条件与电源频率无关

续表

桥路结构	说 明	平 衡 方 程 式	注
	<p>主要用于测电源频率。调 C_1 或 L_1 使谐振于电源频率，这时桥路四臂都具有电阻性质，调一个电阻臂（如 R_3）可使电桥平衡。频率测量范围由十几赫到几十千赫。</p> <p>利用谐振现象，此桥路可用于以 C_1 为标准测 L_1，或以 L_1 为标准测 C_1。</p>	<p>电桥谐振于电源频率 f 时，有</p> $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}}$ <p>如已知 f 及 C_1 时</p> $L_1 = \frac{1}{(2\pi f)^2 C_1}$ <p>如已知 f 及 L_1 时</p> $C_1 = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_1}$	平衡条件与电源频率有关

的如感应耦合比例臂电桥、有源电桥、数字电桥所代替。常见的经典交流电桥如表所示。

电桥可由工频电源或音频振荡器供电，检测仪表可用振动检流计、阴极射线示波器、晶体管毫伏表、听筒或特制的交流检测仪表。

参考书目

Hague B. Alternating Current Bridge Methods, Revised 6th Edition. Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd. 1971

(费正生)

jiāoliú diǎnwèichājī

交流电位差计 (alternating current potentiometer) 利用补偿原理测量正弦交流电压的幅值、相角或分解为两正交分量的仪器。有直角坐标式与极坐标式两种。

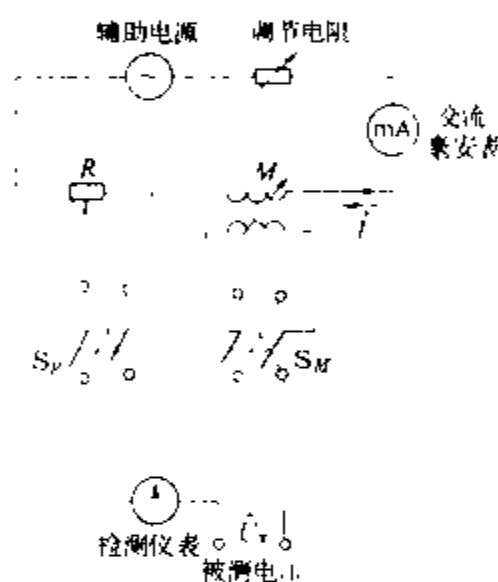
直角坐标式交流电位差计 其电路如图所示。工作时，调电位差计使其提供两个正交的可变标准电压，当检测仪表指零时，两正交可变标准电压所组成的电压相量与被测电压 \dot{U}_x 完全相等。如此，两正交标准电压的示值，就是 \dot{U}_x 的两个正交分量的量值。

这种仪器工作在完全补偿情况下，不从被测电路取电流，不会使被测电路发生变化，因此降低了测量误差。

这种交流电位差计的主要部分为一阻值为 R 的三端可变电阻器和互感为 M 的可变互感器。由辅助交流电源经调节电阻、交流毫安表向 R 与 M 的串联电路提供准确而稳定的电流 \dot{I} 。它的量值由毫安表监视。标准电压的两正交分量，一个取自电阻 R ，一个取自互感 M 。调节 R 上滑动端的位置和调节 M 的大小，就可以改变两正交电压分量的大小。利用开关 S_R 和 S_M 可将此两电压分量的相位或极性倒反。

由于要使两电压完全相等，两电压必须具有相同频率、相同波形、相同量值和相同相位。因此为满足这些条件，辅助电源与被测电压必须为同频率的正弦波。

极坐标式交流电位差计 标准电压的相位可用移相器来改变，其可变幅值取自连接在移相器输出处的三端电阻器上的滑动触点。



直角坐标式交流电位差计电路图

这两种交流电位差计的使用频率范围约自工频到超音频；电压范围一般为若干毫伏或伏。受限于交流毫安表的准确度，仪器的准确级别最高约为 0.5~0.1 级。为扩展电压测量范围需采用分压器。如拟测量交流电压，须将该电压变换为电压，例如通过一标准电阻，将所测电压再经欧姆定律换算出所测电流值。

(唐统一)

jiāoliú gāodiǎnyǎ celiang

交流高电压测量 (measurement of high alternating voltages) 见高电压测量。

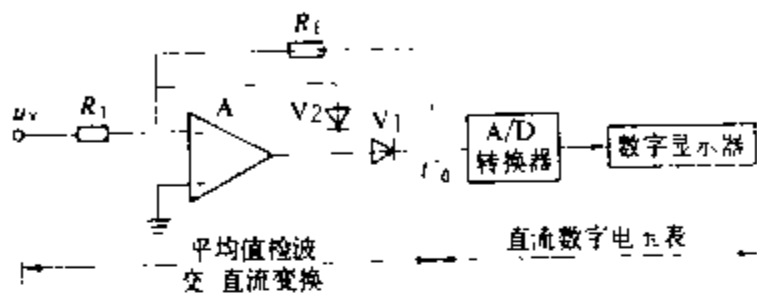
jiāoliú shùzì diǎnyǎbiào

交流数字电压表 (AC digital voltmeter)

应用模数转换技术，测量交流电压并以数字显示的电表。交流数字电压表是由直流数字电压表及交-直流转换器构成。按其转换方式的不同，可分为平均值转换、有效值转换和峰值转换。广泛使用的交流数字电压表多是采用平均值转换原理，它将交流电压半周期内的平均值或全周期内绝对值的平均值转换或直流电压，按直流电压进行测量，然后再按有效值进行标

度。这种转换原理的仪表是有局限性的,它要求被测交流信号必须为正弦波,不然将引起原理性的测量误差。

采用线性检波进行平均值转换的交流数字电压表的框图如图所示。这种交-直流变换器的变换准确度高,线性度好,频率范围宽和动态特性好。现已有误差小于±0.01%的变换器,有的变换器的频率上限已达到几十兆赫。



交流数字电压表框图

实现有效值转换的方法有热偶法、模拟运算法、采样计算法等。这类电表的测量准确度受输入正弦信号波形畸变的影响很小,被称为真有效值数字电压表,因而具有更大的实用意义。

(淦君载)

jiào'ěr

焦耳 (joule) 国际单位制(SI)中能量、热量、功等量的单位。焦耳简称焦,符号是J。以1N的力作用于物体上,并使它沿力的方向位移1m,该力所作的功定义为1J。

(肖达川)

jiào'ěr dìnglǚ

焦耳定律 (Joule's law) 表达物体中通过的电流与由此而产生的热量之间关系的法则。1841年英国物理学家J. P. 焦耳(James Prescott Joule)通过实验测量总结得出。电流流过金属时,内部的自由电子与正离子晶格不断相互作用,运动的自由电子所带的动能传递给离子晶格使之作无规则的振动而发热。这一过程实质上是电能量转换为导体内能的过程。对一段导体,焦耳定律可写成

$$P = I^2 R$$

式中 R 为导体的电阻, Ω ; I 为导体中通过的电流,A; P 为导体通过电流时转换成热量的功率,W。由此产生的热量叫焦耳热。功率 P 与电流平方成正比。在交流电的情况下电流改变方向,转变为热量的功率不会改变热流的方向,焦耳热量的产生是不可逆的。通常电能转变成热能后,通过周围的媒质散失。焦耳定律的适用范围不仅限于金属导体,只要有传导电流存在,均伴随

有热量转换的现象。

恒定电场中, $J = \gamma E$, J 为导体中的电流密度; E 为电场强度; γ 为导体的电导率。单位时间内导体单位体积的功率密度 $p = E \cdot J = \gamma E^2 = J^2 / \gamma$,这一公式就是焦耳定律的微分形式。

(方正翔)

jiē yuē xiāng yīng

阶跃响应 (step response)

在只含一个激励的线性电路或线性系统中,激励是单位阶跃函数时的零状态响应。因此,阶跃响应是一种特殊激励下的零状态响应。若电路或系统的阶跃激励数不止一个,可以分别考虑各激励单独作用时的阶跃响应。

单位阶跃函数 $1(t)$ 它的定义是

$$1(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

$1(t)$ 的时间平移 $1(t-\tau)$ 的

定义是

$$1(t-\tau) = \begin{cases} 1, & t > \tau \\ 0, & t < \tau \end{cases}$$

式中 τ 为常数。图1、图2分别是 $1(t)$ 和 $1(t-\tau)$ 的波形。

若常数 $a \neq 1$,则 $a1(t-\tau)$ 是一般的阶跃函数, $t > \tau$ 时,其值恒为 a 。

图1 $1(t)$ 的波形

阶跃响应举例 图3

是电阻 R 和电容 C 串联接到电压源的电路图。电源电压 $u(t)$ 是激励以电容电压 $u_C(t)$ 为输出。当 $u(t) = 1(t)$ 时,所求得的 $u_C(t)$ 的零状态解就是阶跃响应,记作 $s(t)$,即

$$s(t) = u_C(t) = (1 - e^{-t/\tau})1(t)$$

阶跃响应 $s(t)$ 的波形见图4。

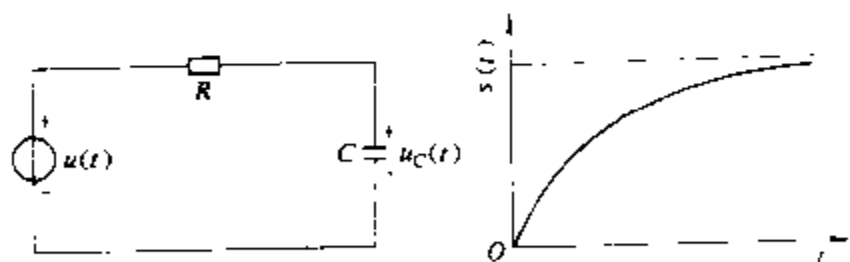


图3 RC串联电路图

图4 阶跃响应 $s(t)$

阶跃响应的应用 $t > 0$ 时,若激励是连续的时间函数 $u(t)$,可以近似地把它当作许多阶跃函数的叠加,见图5。图中,注明1的部分代表 $a_0 1(t)$,注明2的部分代表 $a_1 1(t-\tau_1)$,其他部分的意义类似。则

$$u(t) \approx a_0 1(t) + a_1 1(t-\tau_1) + \dots$$

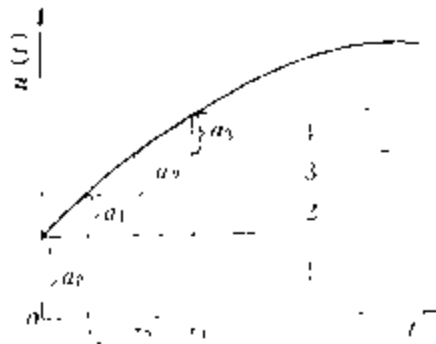


图5 将 $u(t)$ 分作许多阶跃函数

对应于每个阶跃函数的零状态响应，由电路或系统的阶跃响应直接算出。将这些响应叠加，就得到了近似的零状态响应 $y(t)$ ，即

$$y(t) \approx a_0 s(t) + a_1 s(t - \tau_1) + \dots$$

(郑君里)

jiegoutu

结构图 (structural diagram) 见框图。

jieying changxiangying jingtiguang

结型场效应晶体管 (junction field effect transistor) 利用半导体 PN 结反向偏置条件下的电场效应进行工作的晶体管。其特点是栅源间的电阻高，可以达到 $10^7 \Omega$ 以上，它是电压控制器件，所需控制电流极微，且受温度、辐射等外界条件影响小，广泛应用于放大电路和开关电路中。

结构和工作原理 结型场效应晶体管的结构示意图如图 1(a) 所示，它是在一块 N 型半导体材料两边扩散高浓度的 P 型区（用 P^+ 表示），形成两个 PN 结。从两边 P^+ 型区引出两个欧姆接触电极并连在一起称为栅极 g ，在 N 型本体材料的两端各引出一个电极，分别称为源极 s 和漏极 d 。中间的 N 型区是载流子通过漏、源两极的通路，称为导电沟道。具有这种结构的管子称为 N 沟道管，图 1(b) 是它的代表符号。还有一种与它对偶的结构形式称为 P 沟道管，画符号时，栅极箭头应向外。沟道的上下两侧与栅极分别形成 PN 结，改变加在 PN 结两端的反向偏置电压，就可以改变导电沟道的宽度，这样就实现了以改变栅源电压 u_{GS} 来控制电流 i_D 的目的。 u_{GS} 值越负，导电沟道越窄，当 u_{GS} 加大到一定值时，导电沟道被夹断， $i_D \approx 0$ ，这时的 u_{GS} 称为夹断电压 u_P 。

特性曲线 当 u_{DS} 一定时， u_{GS} 和 i_D 之间的关系称为转移特性，见图 2。在 $u_P \leq u_{DS} \leq 0$ 范围内， i_D 随 u_{GS} 的增加（负值减少）近似按平方律上升，故有

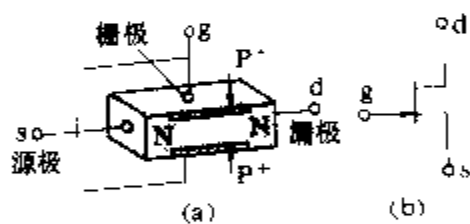


图1 N沟道结型场效应晶体管

(a) 结构示意图；(b) 代表符号

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{u_P} \right)^2$$

式中 I_{DSS} 称为饱和漏极电流。这一特性常被利用来作为混频调制和检波。转移特性上工作点的斜率，称为跨导 g_m ，它是表征场效应晶体管放大能力的一个重要参数，单位为毫西门子 (mS)。

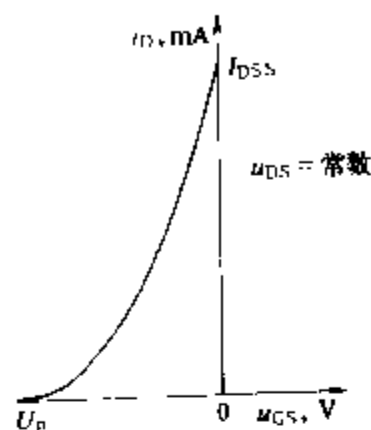


图2 转移特性

此外，尚有漏极特性（亦称输出特性），它描述以 u_{GS} 为参变量时， i_D 和 u_{DS} 之间的关系，见图 3。从图中可见，管子的工作状态可以分成三个区：①可变电阻区。该区的特点是 u_{DS} 较小， i_D 几乎与 u_{DS} 成线性关系增加。增加的比值由 u_{GS} 控制。这时场效应晶体管的 d, s 之间可以

看成一个由电压 u_{GS} 控制的可变电阻。②恒流区（也称饱和区）。曲线近似水平的部分是恒流区， u_{DS} 较大。该区的特点是 i_D 的大小受 u_{GS} 控制，而当 u_{DS} 增大时， i_D 只略有增加，因而可以把 i_D 近似看成为一个受 u_{GS} 控制的电流源。③夹断区。当 $u_{GS} < u_P$ 时，沟道被夹断， $i_D \approx 0$ ，这个区域称为夹断区。

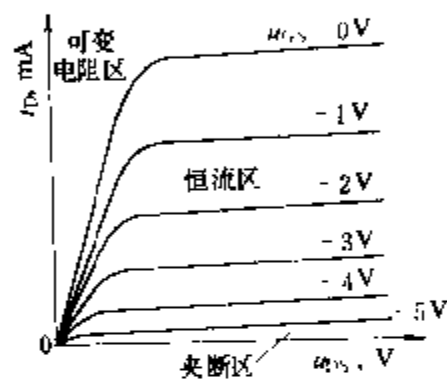


图3 漏极特性

主要参数 见绝缘栅场效应晶体管。

结型场效应晶体管在电路中可起放大作用，也可作为可控开关及压控电阻使用。

(顾立麓)

jiedianfa

节点法 (node analysis)

用电路中节点电压为待求量来求解电路问题的方法。在连通电路中任选一节点为参考节点，其他节点与参考节点间的电压称为节点电压。设电路中节点数为 $n+1$ ，则节点电压数和节点法方程数等于独立节点数 n 。这种方法常用于分析节点少而支路多的复杂电路，因节点电压容易选定，在用计算机辅助分析大型两网时，一般也多采用节点法。

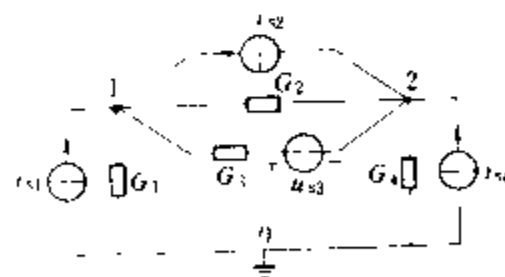


图1 线性电阻电路

节点法的方程可用系统化的方法直接列出。例如

$u_y(t) = U_r \cos \omega_c t$ 为载波信号, 且 $\omega_c \gg \omega_m$ 。电路由模拟乘法器和低通滤波器两部分组成。模拟乘法器的输出电压为 $u'_o(t) = \frac{1}{2} K U_x U_r [\cos(2\omega_c - \omega_m)t + \cos \omega_m t]$, 式中 K 为模拟乘法器的增益系数。低通滤波器的输出电压为 $u_o(t) = \frac{1}{2} K U_x U_y \cos \omega_m t$, 即已调制信号中的原始信号。低通滤波器的上限截止角频率 ω_h 应满足: $\omega_m < \omega_h < 2\omega_c - \omega_m$ 。如果图 1 中的 $u_x(t)$ 是包含多个频率分量的下边带信号, 则 $u_y(t)$ 仍是载波信号, 即 $u_y(t) = u_y \cos \omega_c t$, 低通滤波器的上限截止频率应等于原始调制信号中的最高频率。除图 1 所示的利用乘法器的电路外, 还有多种振幅解调电路, 如二极管解调电路, 又称二极管检波电路。

频率解调器 从已调频的载波信号中, 恢复原来的调制信号的电路。因

已调频波的信息包含在高频振荡的频率变化之中, 所以, 要解调出原来的调制信号, 就必须用频率检波。频率检波又称鉴频。对鉴频器的要求是: 鉴频器的输出信号应与输入的调频波的瞬时频率的变化成线性关系。比较普遍应用的方法是: 先将等幅调频波变换成幅度随瞬时频率变化的调频波, 然后用振幅检波器将幅度的变化检测出来, 其波形变换如图 2 所示。图中

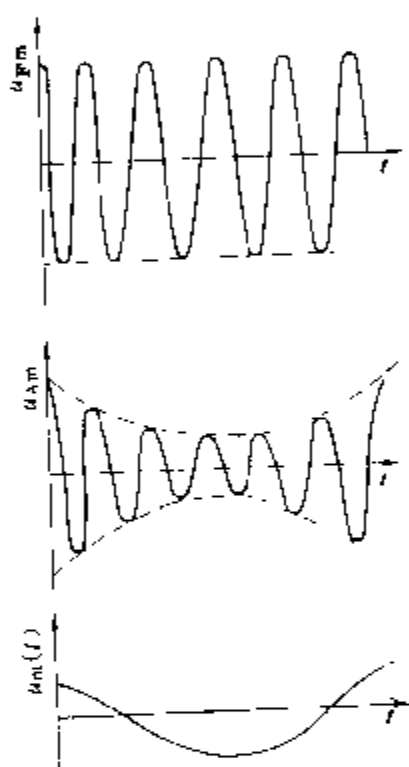


图 2 利用波形变换电路进行鉴频的原理图

u_{FM} 为等幅调频波; u_{Am} 为幅度随瞬时频率变化的调频波; $u_m(t)$ 为调制信号, 它反映 u_{Am} 的振幅变化。图 3 是按上述原理设计的相位鉴频器原理电路。图中一次回路中的 $C_1 L_1$ 和二次回路中的 $L_2 C_2$ 均调谐于调频波的中心频率 f_0 , 完成波形变换的任务, 即把等幅的调频波变换成幅度随瞬时频率变化的调频波 $u_{Am}(t)$, V_1 、 R 、 C_3 、 V_2 、 R 、 C_3 组成上下两个振幅检波器, 以检测振幅的变化。

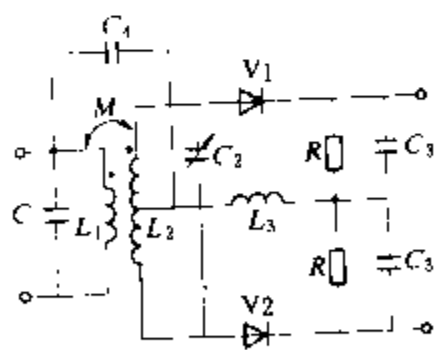


图 3 相位鉴频器原理电路

相位解调器 从已调相的载波信号中恢复原来的调制信号的电路。因为调相波是等幅的高频振荡波, 信

息是包含在等幅的高频振荡波的相位变化之中, 所以,

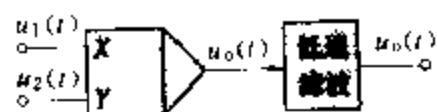


图 4 采用模拟乘法器的鉴相电路方框图

要从调相波中取出原来的调制信号, 必须采用相位检波又称鉴相。鉴相电路有多种, 应用模拟乘法器的鉴相器得到广泛应用。

它在通信、锁相环、频率合成等技术领域中用得较多。其方框图如图 4 所示。设 $u_1(t)$ 为调相电压, $u_2(t)$ 为基准电压, 且 $u_1(t) = U_{1m} \sin[\omega_c t + \varphi_1(t)]$; $u_2(t) = U_{2m} \cos[\omega_c t + \varphi_2(t)]$, 式中 ω_c 为载波频率。信息隐含在 $\varphi_1(t) - \varphi_2(t)$ 的瞬时相位变化中, 由图 4 得模拟乘法器的输出电压为 $u'_o(t) = K u_1(t) u_2(t) = K U_{1m} U_{2m} \sin[\varphi_1(t) - \varphi_2(t)] + K U_{1m} U_{2m} \sin[2\omega_c t + \varphi_1(t) + \varphi_2(t)]$, 经低通滤波器后的输出电压为 $u_o(t) = K U_{1m} U_{2m} \sin[\varphi_1(t) - \varphi_2(t)]$ 。

(何金茂)

介电色散与吸收

(dielectric dispersion and absorption) 介质的光折射率随入射光频率而发生变化的现象。在光频范围内, 介质中能够发生的极化主要有离子极化与电子极化两类。随入射光波电矢量的快速周期性变化, 介质中荷电粒子的极化运动具有高频振动的性质, 因而必然产生能量辐射, 使荷电粒子的高频振动成为阻尼振动, 引起入射光能量损耗, 宏观表现为光吸收, 这是与介电色散必然同时存在的物理过程。

介电色散与吸收也可用复电容率 (或复折射率) 来表示, 其实部是光频电容率, 虚部表示光吸收。

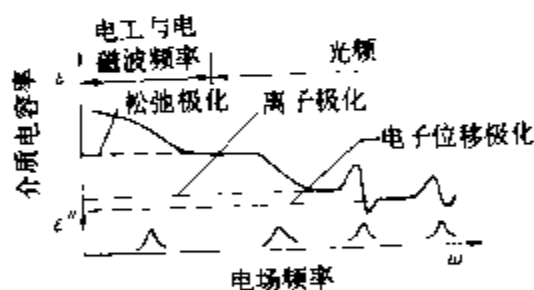


图 5 介质的介电谱图

扩大介电色散与吸收的概念至电工和无线电频率到光频率的全频率范围, 便得到介电色散谱与吸收谱, 常简称为介电谱。典型的极性介质的介电谱如图所示, 它包括电工和无线电频率范围的各种极化与损耗和光频范围的介电色散与吸收, 不同组成和结构的介质, 有不同的介电谱, 因而介电谱是研究介质性能与组成、结构关系的一种重要工具。

(刘辅宣)

介质损耗

(dielectric loss)

电介质从交

变电场中吸收并以热的形式耗散的功率。它将引起电介质发热、温度升高，从而加速电介质的老化。

介质损耗来源于以下两个方面：①由介质电导形成的漏电流在交变电压下具有有功电流的性质，由它所引起的功率损耗称为介质电导损耗。如介质的电导率为 γ ，外加电场强度为 E ，则其电导损耗为 γE^2 。②由介质中与时间有关的各种极化过程所引起的损耗。介质中的各种极化的建立过程都需要一定的时间，当外加电场变化频率增高以致与某种极化建立过程所需要的时间可比时，这种极化就变得逐渐来不及建立而呈现滞后效应，因而产生损耗，叫做松弛损耗。以上这两种损耗在外电路上表现为通过介质的电流不再是理想的电容电流，其超前相位角不再是 $\frac{\pi}{2}$ ，而等于 $\frac{\pi}{2} - \delta$ 。

δ 是这种介质的电流相对于理想电容电流相位角的滞后角，称为损耗角。这时的介质电流包含一个与外加电压同相位的有功部分，即产生介质功率损耗的部分。定义介质电流的有功部分与其无功电流部分之比的 $\tan \delta$ 作为表示介质损耗特性的参数，称为介质损耗角正切。它是最常用的表示介质损耗大小的物理量，是一个无量纲数。一般来说，介质的 $\tan \delta$ 越小越好，但对不同条件下使用的介质要求可以不同。在工频范围内用作绝缘材料的介质， $\tan \delta$ 应小于 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 。在利用介质损耗发热作为加工手段的情况下，则应优先选择 $\tan \delta$ 较大的介质材料。在高压绝缘技术中，介质损耗角正切还是考核高压设备工作稳定性的质量指标之一。当设备运行中出现 $\tan \delta$ 随时间迅速上升的现象时，就预示着介质的绝缘性能正在迅速劣化，必须采取适当的安全措施。

介质损耗角正切是环境温度、电压与频率的函数。它随温度和频率的变化规律大致是：当频率较低或温度较高时，松弛极化完全能跟得上外电场的变化，松弛损耗很小，主要是电导损耗， $\tan \delta$ 随频率上升成反比下降；当频率很高或温度较低时，松弛极化由于跟不上外电场的变化而不发生时，松弛损耗趋于恒定值， $\tan \delta$ 亦随频率上升而下降。在极化可以发生而又有所滞后时， $\tan \delta$ 出现最大值。电场不太强时，介质损耗与场强大小无关；但在电场足够强时，在一些与强电场有关的因素如局部电子发射和气隙游离放电等的影响下， $\tan \delta$ 将随场强增强而增大。

(刘辅宜)

jiezhi sunhaojiao zhengqie shiyan

介质损耗角正切试验 (dielectric loss tangent test) 见电容率与损耗因数试验。

jinsu daodian jili

金属导电机理 (mechanism of metal conduction) 电场作用下金属中自由电子导电的规律和本质。

金属导电的主要特性 与非金属固体、液体或气体导电相比，金属导电有如下特征：

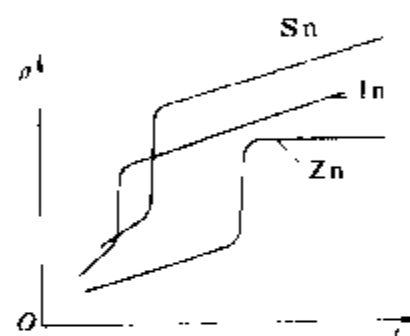
(1) 电阻率随温度增高而上升，并且在相当宽的温度变化范围内呈线性关系

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

式中 ρ_t 为温度 t ($^{\circ}\text{C}$) 下金属的电阻率； ρ_0 为同一金属在标准测试温度 t_0 下的电阻率。通常取 $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ ，也可取 $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ 。对于水银，则取 $t_0 = -45^{\circ}\text{C}$ 。 α 是温度每升高 1°C ，电阻率的增量，称为电阻率的温度系数。良导体的电阻率为 $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 数量级，非良导体可能大几倍至几十倍。电阻率的温度系数一般是 $10^{-3} 1/^{\circ}\text{C}$ 数量级，特殊的合金例外。

在接近熔点时，金属的电阻率发生突然变化，因此上式不能适用 (见图)；

此外，在低温场合，即当温度远低于这种金属的德拜温度 (可从物理手册中查得) 时，上式也不适用。



(2) 电阻率和它所含杂质的数量和种类密切相关。含杂质的金属导体的电阻率大于纯金属导体的电阻率。因此电热丝必需是合金材料。

金属的电阻率在温度接近熔点时发生突变的例子

(3) 当材料承受拉伸或压缩产生形变时，或由其他原因，例如热处理等，内部产生应力时，其电阻率亦将发生改变。

金属导电的物理模型 正确的金属导电理论应能解释上述三个特征。在金属中，携带电荷的载流子是电子。构成金属晶格的正离子只能在其平衡位置附近作振动。在电场力的作用下，电子的定向迁移形成电流。无电场时，金属中的电子在相对于其本身体积来说是很宽敞的晶格点阵间隙中运动，类似于气体分子的热运动，因此这种电子集体可称为电子气。其运动是杂乱无章的，即自由电子的热运动。电场力的作用使自由电子除热运动外，又有一个沿着电场反方向移动的定向运动分量，从而形成宏观的电流。

金属中自由电子的微观运动不断地改变方向，主要原因是和晶格离子发生碰撞。因为离子的体积比电子大得多，这种碰撞的几率比较大。每碰撞一次，电子便改变运动方向，这现象称为晶格散射。被散射的几率大小通常用散射截面来度量。金属导体的导电性正是

取决于这种散射。随着温度的升高,电子热运动和晶格振动都加剧,电子被晶格散射的几率增大,因此电阻增大。这便解释了电阻随温度上升而增高的物理现象。当金属中含有杂质时,金属晶格中的填隙原子和缺陷数目增加,电子被晶格、填隙原子及缺陷散射的几率增加,于是电阻率增大。此外,当金属受到外力作用时,由于应力引起的应变,使晶格发生畸变,也导致电阻率改变。上述金属导电的电子理论能够解释金属导电三大特征,因此得到了确认。

金属导电的经典理论 依照上述物理模型,用经典电动力学的方法可推导出电导率公式,如以 σ 表示金属的电导率,则有

$$\sigma = \frac{ne^2}{m} \tau$$

式中 n 为电子气的密度(单位体积内的电子数目); m 为电子质量; e 为电子电荷; τ 为平均自由时间。平均自由时间的定义是,每二次碰撞间历经的时间的平均值,即平均自由程的倒数。

金属导电的量子理论 经典理论的一个缺点是不能导出金属电阻率和温度成正比的定量关系。原因是未考虑量子效应。按照量子力学理论,晶格的周期性势场产生能带,在能带中电子的每一个本征态以波矢 k 表示, k 是波数。在严格的周期性势场中,电子保持在一个本征态上,并不随时间而改变,这相当于电子不被晶格所散射,即具有无限长的平均自由程。实际上,由于晶格振动、缺陷等因素破坏了晶格势场的严格周期性,导致电子平均自由程的缩短。

在量子论中,和经典麦克斯韦速率分布相对应的是电子气的平衡态费米统计分布,用 $f(E)$ 来表示,其中能量 E 是波矢 k 的函数,即 $E=E(k)$ 。在外电场 \mathcal{E} 的作用下,电子的状态随时间而改变,有以下关系式

$$\frac{dk}{dt} = - \frac{e\mathcal{E}}{h}$$

式中 h 是普朗克常数。

电子的状态改变是由散射引起,即电子和晶格碰撞后波矢 k 改变,从而使分布函数改变了 $\Delta f = f - f_0$,碰撞后又逐步恢复平衡状态,可用松弛时间 τ 来描述恢复平衡的速度,即 $\Delta f = (\Delta f)_{t=0} e^{-t/\tau}$ 用量子统计力学的方法可以导出一个形式上与经典公式相同的结果,即

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m^*}$$

式中 τ 是松弛时间而不是平均碰撞时间, m^* 是电子的有效质量而不是惯性质量。在各向同性的介质中,有效质量的定义是

$$m^* = \hbar^2 / \frac{\partial^2 E(k)}{\partial k^2}$$

可见, m^* 是一个和能带结构及电子在能带中分布状况有关的量,因而是一个与晶格的周期性结构以及电子、晶格相互作用有关的量。

尽管在引入松弛时间和有效质量后,量子论的电导公式和经典公式相似,但在量子论中可以通过计算散射截面来求得松弛时间 τ 与温度的关系。对纯金属来说,当温度高于德拜温度时,可以证明 $\tau \propto \frac{1}{T}$, 即 $\rho \propto T$ 。而当温度远低于德拜温度时,则可以证明 $\rho \propto T^5$ 。这一计算结果和布洛赫——格林爱森经验公式相吻合。

在有杂质的情况下,按照马德森定则,固溶体的电阻率应是纯金属晶格散射及杂质散射二部分引起的电阻率之和。量子论可以计算出由杂质散射引起的附加电阻率和有效质量有关,但和温度无直接联系。

松弛时间和有效质量有关,实质上是反映电阻率与金属能带结构有关。通过计算能级密度还可以解释过渡金属电阻率的一些异常情况,这些都是经典理论无法解释的。

(黄嘉豫)

jinda kuandu

禁带宽度 (width of forbidden band) 导带的能量下边界和价带的能量上边界之间的间隙。根据能带理论,而体中运动电子的能量谱值系由一系列准连续的具有一定宽度的能带(称为允带)所组成。两个相邻的允带之间的区域为不能被电子占据的能量禁区,称为禁带。禁带所覆盖的能量区间称为禁带宽度,用 E_g 表示。在室温下,半导体材料锗、硅、砷化镓的禁带宽度依次为 0.67 eV、1.12 eV 和 1.428 eV。

禁带宽度 E_g 随温度 T 变化关系为

$$E_g = E_g(0) + \beta T \quad (1)$$

$$\beta = dE_g/dT \quad (2)$$

式中 $E_g(0)$ 为外推至 $T=0K$ 时的禁带宽度。锗、硅、砷化镓的 $E_g(0)$ 依次为 0.785 eV、1.21 eV、1.53 eV。将上二式代入本征载流子浓度公式中(见载流子),则本征载流子浓度 n_i 为

$$n_i = 4.82 \times 10^{15} \left(\frac{m_p^* m_n^*}{m_0^2} \right)^{3/4} \times T^{3/2} \exp \left(-\frac{\beta}{2k} \right) \exp \left[-\frac{E_g(0)}{2kT} \right] \quad (3)$$

由式(3)可知,半导体材料的禁带宽度对本征载流子浓度有影响。对一定的半导体材料,其本征载流子浓度随温度的升高而迅速增加。同时,由于 E_g 随温度升高而

增大,也促使 n_i 增大。对不同的半导体材料,在一定温度下,禁带宽度 E_g 愈大,本征载流子浓度 n_i 就愈小。

二极管PN结的反向饱和电流密度与 n_i^2 成比例。因此, E_g 愈大, n_i 随温度的变化也愈大,反向饱和电流变化就愈快,这一性质将影响半导体器件的温度特性。

(朱秉升)

jingdian kongzhi lilun

经典控制理论 (classical control theory)

采用传递函数和频率特性描述,研究单输入单输出控制系统的控制理论,亦称古典控制理论。它是自动控制理论的一个组成部分。

设计和建立自动控制系统以代替或部分代替人的部分体力、脑力劳动的努力可以追溯到人类的古代文明时期。中国东汉时期建造的指南车被认为是人类历史上最早的“控制论”机械。1788年J. 瓦特(J. Watt)发明了蒸汽机的离心式飞摆调速器,构成了近代的自动控制装置。

随着各种自动控制系统的建立,不少学者致力于研究自动控制系统的稳定性等有关的理论问题,并逐步取得了成果。例如,1868年J. C. 麦克斯韦(J. C. Maxwell)发表的《论调速器》,总结了无静差调速器的理论;1876年И. А. 维什涅格拉茨基(И. А. Вышнеградский)发表的《论调节器的一般理论》进一步总结了调节器的理论;E. J. 劳思(E. J. Routh)在1875年,A. 赫尔维茨(A. Hurwitz)在1895年分别独立地建立了直接根据代数方程的系数判别系统稳定性的判据(见劳思—赫尔维茨稳定判据)。进入20世纪,研究工作又得到了更多的进展,1922年H. 米诺尔斯基(H. Минорский)发表了《关于船舶自动操舵的稳定性》;1932年H. 奈奎斯特(H. Nyquist)建立了根据频率响应判别系统稳定性的判据(见奈奎斯特稳定判据);1934年H. L. 黑曾(H. L. Hazen)发表了《关于伺服机构理论》;同年,И. Н. 沃兹涅先斯基(И. Н. Вознесенский)发表了《自动调节理论》;1938年A. B. 米哈依洛夫(A. B. Михайлов)发表了《频率法》,这些工作标志着经典控制理论的诞生。1939年苏联科学院设立自动学和远动学研究所,同年美国马萨诸塞州理工学院(MIT)建立伺服机构实验室。这二者是世界上第一批系统与控制的专业研究机构,为20世纪40年代形成经典控制理论学科和发展局部自动化作了理论上和组织上的准备。这一学科当时在美国称为伺服机构(servo mechanism)理论,在苏联称为自动调节原理,主要是研究单变量的线性定常系统控制问题。20世纪40~50年代,经典控制理论的研究取得了重大的进

展。1945年H. W. 伯德(H. W. Bode)发表了专著《网络分析和反馈放大器设计》。同年,L. A. 麦科尔(L. A. MacColl)发表了第一本关于经典控制理论的专著《伺服机构的基本理论》。1947年H. M. 詹姆斯(H. M. James)等三人合著的第一本经典控制理论教材《伺服机构理论》出版。1948年N. 维纳(N. Wiener)发表《控制论》,为控制论奠定了基础。同年C. E. 香农(C. E. Shannon)发表《通信的数学基础》,为信息论奠定了基础。维纳和香农分别从控制和信息这两个侧面来研究系统,维纳还从信息的角度研究了反馈系统的本质,从而人们对反馈和信息有了较深刻的理解。1954年钱学森发表了《工程控制论》,全面总结了经典控制理论。上述这一切,标志着经典控制理论的成熟。1960年在第一届全美联合自动控制会议上,把系统与控制领域中研究单变量控制问题的理论称为经典控制理论,研究多变量控制问题的理论称为现代控制理论。

经典控制理论的主要研究对象是单输入单输出的线性定常控制系统(见线性控制系统)。主要采用传递函数和频率特性描述,反馈是基本控制方式。控制的目的是保持系统稳定性,保持输出为一常量或按一定规律变化以及使系统的动态响应和稳态误差符合要求。研究连续型线性定常控制系统的主要方法是频率响应法,还有根轨迹法。研究离散型线性定常控制系统(见离散系统)用Z变换法。研究内容有两类:一类是控制系统行为和性能的分析;一类是控制系统设计与补偿。简单的非线性控制系统也是经典控制理论的研究对象,其研究方法主要有描述函数法和相平面法。

20世纪50年代,空间技术迅速发展,迫切需要解决多变量系统的最优控制问题。学者们试图把经典控制理论推广到多变量系统的控制,都遭到了失败。需要寻求新的理论和方法,于是现代控制理论诞生了。

尽管经典控制理论有其固有的局限性,但在其适用的范围内,它仍然是很有效的,并且使用也简便,因而迄今仍得到广泛应用。

(于 渤)

jingtianguan dianyabiao

晶体管电压表 (semiconductor voltmeter)

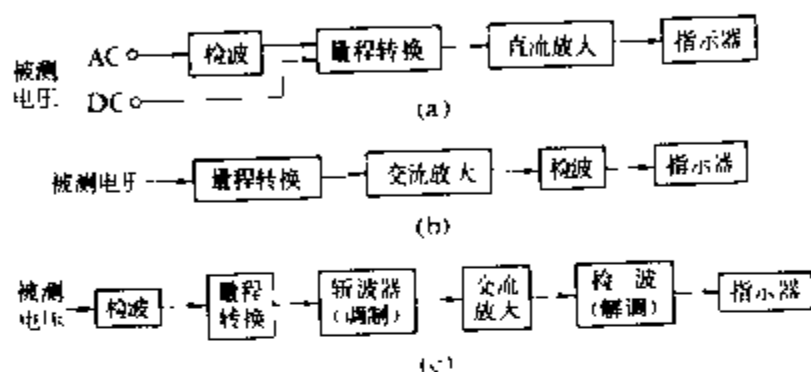
由晶体管放大器和指针式电表组成的电压表,又称电子电压表。

电路结构 一般包括量程转换(分压器)、放大器、检波器、指示器(表头)和电源等部分。有检波—放大式,放大—检波式,检波—放大—检波式等几种组合方式。

检波—放大式 被测交流(AC)电压先通过检波

器变换成直流电压、再经直流放大器(或集成运算放大器)使直流微安表指针偏转,见图(a)。由于放大器放大的是直流信号,放大器的频率响应不影响整个电压表的频率响应,因而频带较宽,一般由几十赫至几百兆赫,可用于构成高频电压表。又因一般采用的桥式直流放大器增益较低,有零点漂移现象,因而灵敏度不高,最低量程一般为1 V。

当被测量为直流(DC)电压时,输入信号直接送至量程转换部分,而不必通过检波器。



晶体管电压表框图
(a)检波—放大式;(b)放大—检波式;
(c)检波—放大—检波式

放大—检波式 被测的交流电压经交流放大后再通过电阻与检波器变换成直流电流,使微安表指针偏转,见图(b)。由于先进行放大,提高了仪表的灵敏度,最低量程可达毫伏级,但是电压表的频率范围受放大器频带的限制,其频率范围约为几十赫至几十兆赫。

检波—放大—检波式(调制式) 把被测(高频)交流电压(峰值)经检波变成直流电压,通过斩波器变为低频交流电压(调制),再送到交流放大器,其输出经过再次检波(解调)又变成直流电压;最后使微安表指针偏转,见图(c)。中间用交流放大器的目的是克服图(a)中直流放大器的零点漂移,增益可以做得很高,从而提高了灵敏度,并在一定程度上解决了灵敏度与频率范围的矛盾。它的最低量程约为毫伏级,频率范围为几十赫至几百兆赫。

分类 晶体管电压表按量程分,有伏特表、毫伏表、微伏表。按工作频率分,有直流、音频、视频、高频、超高频、宽频带、选频或兼有测量直流和交流的复用型电压表等多种。按对信号的检波方式分,有平均值检波、峰值检波和有效值“检波”等。还有一种称为脉冲电压表的,可用于测量脉冲的幅值,它采用峰值检波和保持电路来实现对脉冲电压的测量。

技术指标 表征晶体管电压表性能的技术指标有:灵敏度、准确度、量程范围、频率范围和输入阻抗等。晶体管电压表的优点是输入阻抗高、量程广、改变量程方便、频率范围宽、过载能力强;缺点是准确度不

高(固有误差一般为1%~3%),需定期进行校准。

在使用中应当注意的是:用平均值检波或峰值检波的低频或高频电压表,仪表的度盘都是按正弦波有效值刻度的,当用于测量非正弦波电压时其指示值没有直接意义,必须进行换算。

(张乃国)

jingti zhendangqi

晶体振荡器 (crystal oscillator) 利用石英晶体作为选频元件的正弦波振荡电路。晶体振荡器按晶体在电路中的接法可分为并联型和串联型两类。在采用恒温控制时,其振荡频率稳定度一般可高达 $10^{-9} \sim 10^{-11}$,在通信及电子仪器设备中被广泛用作信号源。

石英晶体 利用压电效应制成的一种谐振器件。基本结构是从一块石英晶体上按一定方向切割成薄片,在两个对应表面上涂微银层作为电极,然后焊上引出线,再用金属或玻璃壳封装而成。当在石英晶体的两个电极上加一电场时,晶片就会产生机械变形。反之,若在晶片的两侧施加机械压力,则在晶片相应的方向上产生电场,这种物理现象称为压电效应。晶片按照切割的情况,有它本身的谐振频率。当在晶片的两个电极上加交变电压时,晶片就会产生机械振动,同时晶片的机械振动又会产生交变电场。如果外加频率与晶片的谐振频率相等,则产生压电谐振。这种物理现象可用图1(b)所示的等效电路来表示。图中 L 、 C 、 R 分别为晶体

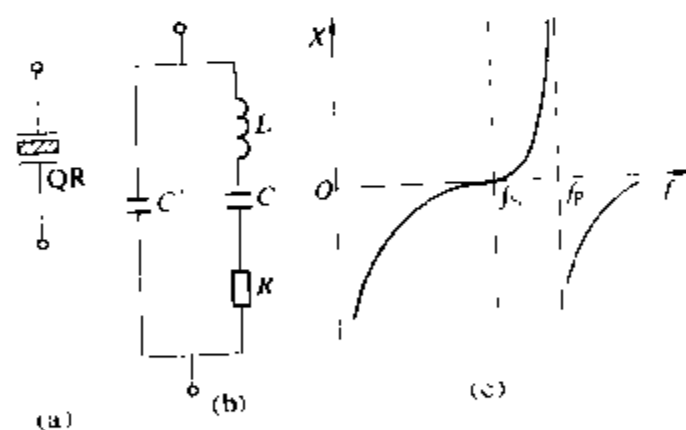


图1 石英晶体的等效电路及特性曲线
(a)符号;(b)等效电路;(c)阻抗频率特性

的等效电感、电容和电阻,而 C' 则为晶体两电极间的寄生电容。石英晶体在电路中的符号如图1(a)所示。图1(c)为石英晶体等效阻抗的频率特性曲线。它具有很高的品质因数 Q 。

石英晶体的谐振频率有两个:

(1) 当 L 、 C 、 R 支路发生串联谐振时,谐振频率为 $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。若工作频率 $f < f_s$,电路呈容性; $f > f_s$,电路呈感性。

(2) 当 L, C, R 支路呈感性, 与电容 C' 产生并联谐振时, 谐振频率为 $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}}$, 式中 $C_p = \frac{CC'}{C+C'}$, 通常 $C' \gg C$, 因此, $C_p \approx C$, 也就是 f_p 甚接近于 f_s 。当 $f > f_p$ 时, 晶体的等效电路呈容性。

石英晶体产品外壳上所标的频率, 一般指并联负载电容 ($C_L \approx 30 \text{ pF}$) 时的并联谐振频率。

并联型晶体振荡器 利用石英晶体的并联谐振特性构成的振荡电路, 如图 2 所示。 C_1, C_2 兼起分压作用。整个电路的振荡频率就是晶体的谐振频率。

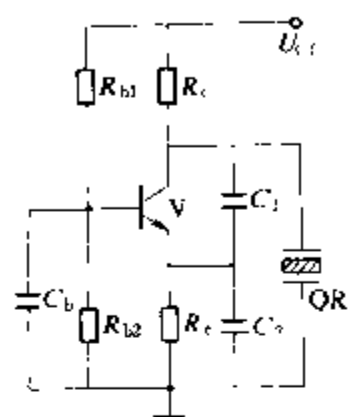


图2 并联型晶体振荡器

串联型晶体振荡器 利用石英晶体的串联谐振特性构成的振荡电路。如图 3 所示。当晶体工作在串联谐振 $f = f_s$ 时, 晶体的阻抗呈纯电阻特性, 且最小。这时电路实现正反馈, 且反馈最强, 产生自激振荡, 振荡频率即为 f_s 。

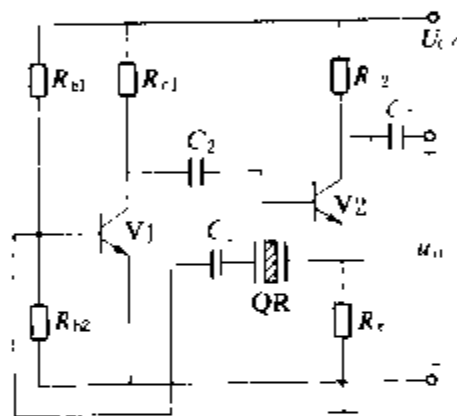


图3 串联型晶体振荡器

晶体振荡器的连接电路可以多种多样, 以上仅为举例说明。

(叶德璇)

jingzhaguan

晶闸管 (thyristor)

结, 能从断态转入通态, 或从通态转入断态的双稳态半导体器件, 也称晶体闸流管。“晶闸管”一词是包括所有 PNP 类型开关管族系的泛称术语, 在不致引起含混或误解时, 它可以用来表示晶闸管族系的任何一种器件。通常晶闸管用于表示以往称之为可控硅整流器 (SCR) 的反向阻断三极晶闸管。

具有三个或更多个 PN

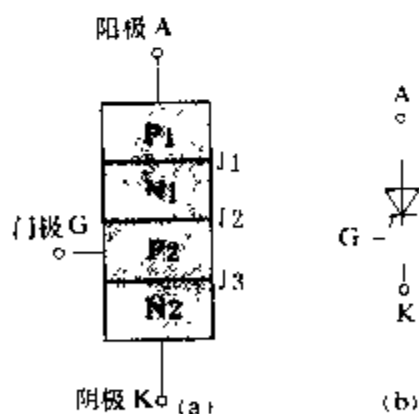


图1 反向阻断三极晶闸管示意图

(a) 管芯结构; (b) 符号

反向阻断三极晶闸管工作原理 它是以 N 型硅

单晶为基础材料, 通过扩散或合金法形成具有三个结的 PNP 四层结构芯片, 并三个端子, 即阳极 A, 阴极 K 和门极 G (图 1)。

(1) 一般分析: 如图 2 所示, 可把晶闸管视为两个晶体管 P1N1P2 和 N1P2N2 的再生反馈结, 用以说明晶闸管从断态转换为通态或由通态转换为断态的工作原理。J2 结成为两个晶体管共同的集电结, 令晶体管 P1N1P2 和 N1P2N2 的电流放大系数分别为 α_p 和 α_n 。

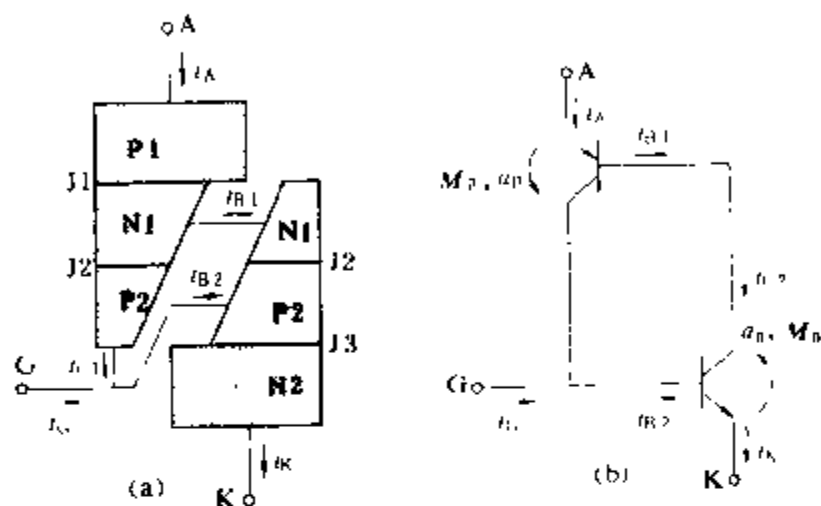


图2 晶闸管工作原理

(a) 与晶闸管等效的两个晶体管;

(b) 相应的等效电路

J2 结的空穴和电子雪崩 (见硅稳压管) 倍增系数分别为 M_p 和 M_n , P1N1P2 晶体管的漏电流为 I_{L1} , 则基极电流 i_{B1} 可用式 (1) 表示, 即

$$i_{B1} = (1 - \alpha_p M_p) i_A - I_{L1} \quad (1)$$

对于 N1P2N2 晶体管, 令漏电流为 I_{L2} , 则集电极电流 i_{C2} 可用式 (2) 表示, 即

$$i_{C2} = \alpha_n M_n i_k + I_{L2} \quad (2)$$

因为 $i_{B1} = i_{C2}$, $i_k = i_A + i_G$, 从式 (1) 和式 (2) 得到

$$i_A = \frac{I_{L1} + I_{L2} + \alpha_n M_n i_G}{1 - \alpha_p M_p - \alpha_n M_n} \quad (3)$$

当 $\alpha_p M_p + \alpha_n M_n = 1$ 时, 晶闸管开通。 M_p, M_n 是外加电压 u 的函数, 当转折电压为 U_{BO} 时可用式 (4) 表示

$$M = 1/[1 - (U/U_{BO})^n] \quad (4)$$

式中对于 $M_p, n=4 \sim 9$; 对于 $M_n, n=1.4 \sim 2.5$ 。

α_p, α_n 是电流的函数, 电流增加, α_p, α_n 变大。

(2) 开通条件: 式 (1) 表明, 当 $\alpha_p, \alpha_n, M_p, M_n$ 增大, 且满足 $\alpha_p M_p + \alpha_n M_n = 1$ 时, 才会使晶闸管开通。①靠转折电压开通。没有门极信号, $\alpha_p M_p + \alpha_n M_n \ll 1$ 时, 式 (3) 为 $i_A \approx I_{L1} + I_{L2}$ 。此状态为断态 (图 3 的 I)。外加电压增大之后, 引起 J2 雪崩击穿, M_p, M_n 增大, 电流增加, α_p 和 α_n 变大, 当 $\alpha_p M_p + \alpha_n M_n = 1$, 引起转折 (图 3 的 II), i_A 继续增大, 在 α_p, α_n 增大的同时, M_p, M_n 减小, 晶闸管由呈负阻状态 (图 3 的 III) 进入 J2 为正向偏置状态, 晶闸管呈现类似于二极管那

样的低阻状态(通态)(图3的IV)。(2)靠门极电流开通。门极通过电流 i_G 使N1P2N2晶体管 α_n 增大,由于 $i_{C2}=i_{B1}$,P1N1P2晶体管的 α_p 也增大。当满足 $\alpha_p M_P + \alpha_n M_n = 1$ 时,晶闸管开通。

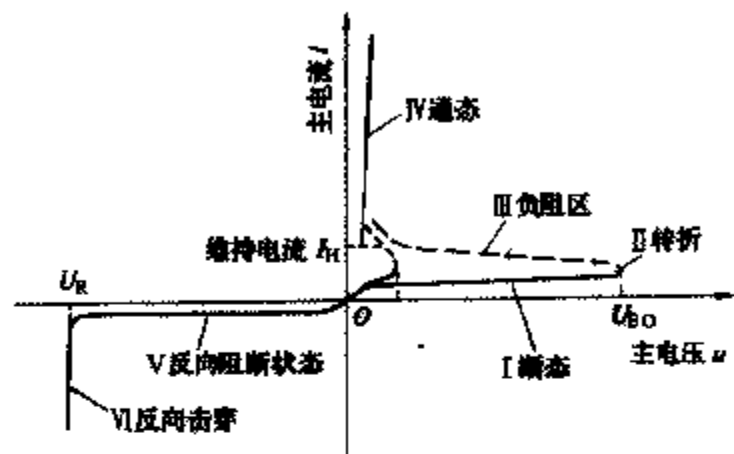


图3 反向阻断三极晶闸管主电压—电流特性曲线

在门极加适当的门极电压,使门极电流 i_G 高于门极触发电流,则晶闸管正向电压即使低于 U_{BO} ,亦可由断态转变为通态,此后只要通态电流高于维持电流 I_H ,则晶闸管始终处于通态,且与门极触发信号存在与否无关。直到正向通态电流低于维持电流 I_H 才能恢复断态,所以这种普通反向阻断三极晶闸管在A、K间直流电压作用下不能自关断。

(3)关断方法:为了使晶闸管关断有三种方法。①加大电路阻抗,使通态电流下降到维持电流 I_H 以下。②在门极上流过反向电流。③A、K之间外加反向电压。普通晶闸管一般采用方法③。

反向阻断三极晶闸管的主要参数 由普通反向阻断三极晶闸管的伏安特性(图3)可见,普通晶闸管的反向特性与二极管反向特性相似,但在正向特性上却有阻断和导通两种状态。因此表征晶闸管耐压性能的有反向转折电压和正向转折电压两个值。在产品规格中用比前两者稍低的整数电压作为晶闸管的耐压主要参数。它们有反向不重复峰值电压 U_{RSM} 、断态不重复峰值电压 U_{DSM} ,此为晶闸管上所能承受的短时极限电压。前者相当于图3中的 U_R ,后者为不加 I_G 时管子能维持断态的最大电压 U_{BO} 。通常所标定的晶闸管电压等级是以反向重复峰值电压 U_{RRM} 及断态重复峰值电压 U_{DRM} 来给定。而 U_{RRM} 、 U_{DRM} 可从 U_{RSM} 、 U_{DSM} 值决定,中国现行国家标准则以90%的 U_{RSM} 和90%的 U_{DSM} 分别作为 U_{RRM} 和 U_{DRM} 值。

在正向导通状态下主要参数是通态平均电流 I_T 、通态电压 U_T 、门极触发电压 U_{GT} 、门极触发电流 I_{GT} 、通态电流临界上升率 di/dt 及断态电压临界上升率 du/dt 。晶闸管的反向恢复时间 t_{rr} 为主要动态参数。

晶闸管分类 根据晶闸管主电压—电流特性曲线

在第Ⅲ象限的状态分,有:

(1)反向阻断三极晶闸管。

(2)逆导三极晶闸管。一种对负阳极电压没有开关作用,而当该电压量级可与通态电压比拟时,能通过大电流的三端晶闸管。

(3)双向三极晶闸管。一种在主特性的第Ⅰ和第Ⅲ象限内具有基本相同转换性能的三端晶闸管。

以上三种晶闸管的主电压—电流特性曲线如图4所示。

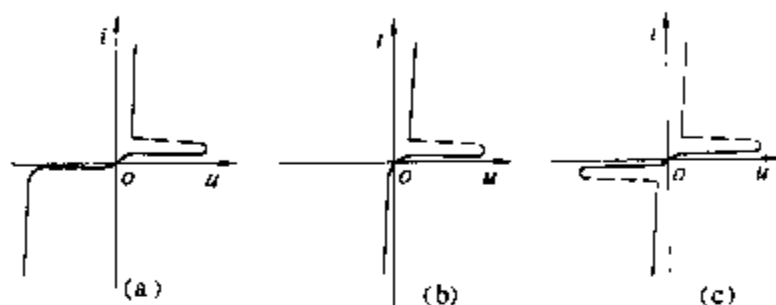


图4 三种类型晶闸管主电压—电流特性曲线

(a) 反向阻断型; (b) 逆导型; (c) 双向型

此外,根据功用的不同,还有:

(1)可关断晶闸管。一种施加适当门极信号,可从通态转换到断态或从断态转换到通态的三端晶闸管,一般简称为GTO (Gate Turn Off thyristor)。

(2)快速三极晶闸管。一种对开、关时间等瞬态参数有特别要求,可以在频率高于400Hz工作的反向阻断三端晶闸管。

(3)光控晶闸管。以光信号或电信号触发使之进入通态的晶闸管。

上述多种功率半导体器件构成了广泛应用于电力电子技术领域中的晶闸管族系。

参考书目

沈尚贤主编,电子技术导论,第1版,北京:高等教育出版社,1985

(张志清)

jingzhaguan baohu dianlu

晶闸管保护电路 (protective circuit for thyristor)

能防止晶闸管因过电流或过电压而损坏的电路。晶闸管热容量小,承受过电流和过电压的能力差。为了提高晶闸管装置的可靠性,除合理选择晶闸管参数外,还需要设置一定的保护电路。

过电流保护 晶闸管装置工作时,可能由于输出侧短路、过载或器件击穿短路等原因而发生短路和过电流等情况。根据需要可设置下列一种或数种保护电路:①在交流侧串入电抗器以限制短路电流,从而限制流过晶闸管的电流。②采用过电流反馈控制的方法,在交流侧设置电流检测装置,当出现过电流信号时,利用

此信号去控制触发脉冲,使晶闸管导通角减小,迅速减小输出电压,从而抑制过电流。但这种方法只适用于外部故障引起的过电流,对装置内器件本身损坏产生的过电流则不能抑制。③接入快速熔断器,其熔断时间一般都小于10ms,一旦发生过电流可及时熔断,以保护晶闸管。熔断器可以安装在交流侧,也可以安装在直流侧或与晶闸管串联。采用与器件串联的方法,因流快速熔断器的电流和流过晶闸管的电流相同,保护作用好,故应用最广。④采用过电流继电器和自动开关。当发生过电流故障时,过电流继电器动作,使自动开关跳闸。直流快速开关动作时间一般只有2ms,是较好的直流侧过电流和短路保护装置。

过电压保护 晶闸管工作时,如管子两端电压超过容许承受的最大反向电压 U_m ,则称为过电压。过电压可导致晶闸管反向击穿而损坏。过电压可分为静电感应过电压和电磁感应过电压两类。

(1)静电感应过电压及其保护:由变压器供电的晶闸管装置,在变压器的一次和二次绕组变比较大的情况下,合闸瞬间一次绕组的高电压会通过级间分布电容耦合到二次绕组中造成晶闸管的过电压。对这种过电压可采用在变压器上加屏蔽绕组或在二次侧并联适当的电容器的方法加以抑制。

(2)电磁感应过电压及其保护:突然切断电感回路电流会产生电磁感应过电压,这种过电压可能发生在交流侧、直流侧和器件上。例如在交流侧,当变压器一次侧突然拉闸,使励磁电流突然切断,铁芯中磁通 Φ 在短时间内变化很大,因而在二次侧感应出很高的瞬时过电压;在直流侧,以电动机为负载(图1)时,当与导通晶闸管串联的快速熔断器因过载而熔断时,由于直流主电路中电感储存能量的释放,在整流桥输出端会产生过电压;此外,晶闸管在换相过程中,当 di/dt 很大时也会产生关断过电压,其值可达工作电压峰值的5~6倍。这种过电压可采用阻容保护和非线性压敏电阻保护来抑制。阻容保护(图2)。由于电容两端电压

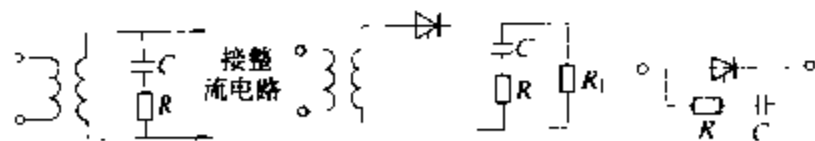


图2 阻容保护电路

不能突变,故它能限制电压变化率,抑制过电压数值。电阻起消耗能量、抑制振荡的作用。通常有以下几种接

入方式:在变压器二次侧并联阻容元件;在直流输出端接入阻容元件;与晶闸管并联阻容元件。

当晶闸管阳极电压迅速改变时,通过阳极到栅极的极间电容提供栅极电流,有可能使晶闸管导通。这种触发称为 du/dt 触发。就其本质而言,这并不是器件失效,但一个晶闸管在不适当的时间导通,它将受到某种损坏。图2所示保护电路也是对 du/dt 触发的保护。

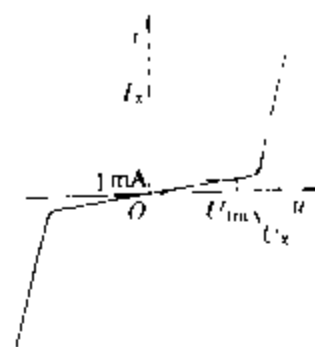


图3 压敏电阻
伏安特性

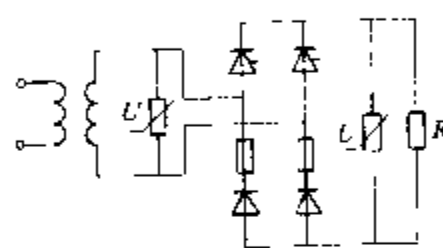


图4 压敏电阻保护

压敏电阻,是目前较好的过电压保护元件。氧化锌压敏电阻发展很快,有取代其他种类压敏电阻的趋向。压敏电阻可接在交流侧或直流侧(图4)。

(张志清)

jingzhaguan chufa dianlu

晶闸管触发电路 (trigger circuit for thyristor)

向晶闸管门极提供相位、幅度和宽度符合要求的脉冲电流,以控制管子导通的电路。该电路由移相、脉冲发生、脉冲整形、脉冲放大、脉冲变压器、门极-阴极电路等部分构成。

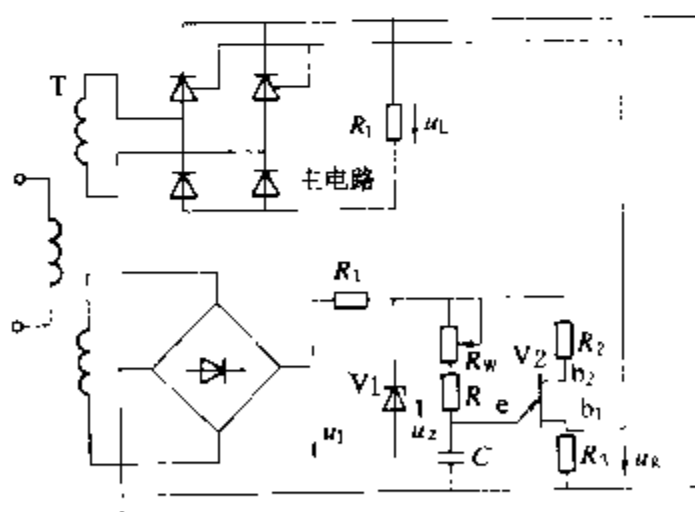


图1 单结晶体管触发电路

单结晶体管触发电路 如图1所示,其工作原理如下:正弦交流电源由同步变压器T降压,经桥式整流、并经 R_1 和稳压管 V_1 削波形成梯形电压。此梯形电压既是单结管 V_2 的供电电源,又是对电容 C 充电

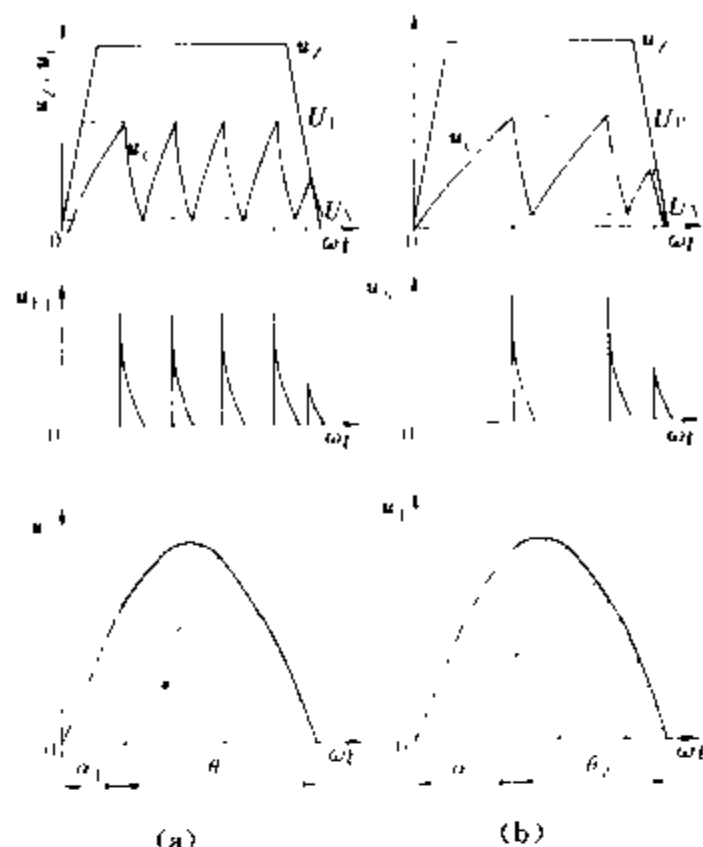


图2 图1电路的波形图(改变 R_w 可改变控制角 α)
(a) $\alpha = \alpha_1$; (b) $\alpha = \alpha_2$

的同步电压。当电容 C 充电达到单结管的峰点电压 U_F 时,单结管导通, C 经电阻 R_3 放电,输出触发脉冲。当电容 C 放电到单结管的谷点电压 U_V 时, V_2 截止,输出电压 U_{b1} 为零。继而 C 再次充电,重复上述过程,形成一串输出脉冲。改变 R_w 可改变产生第一个脉冲的时刻,从而达到移相的目的,图1电路的波

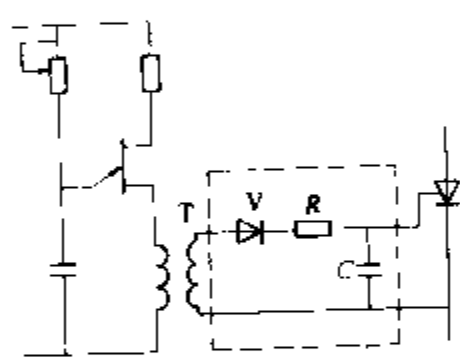


图3 用脉冲变压器输出触发脉冲

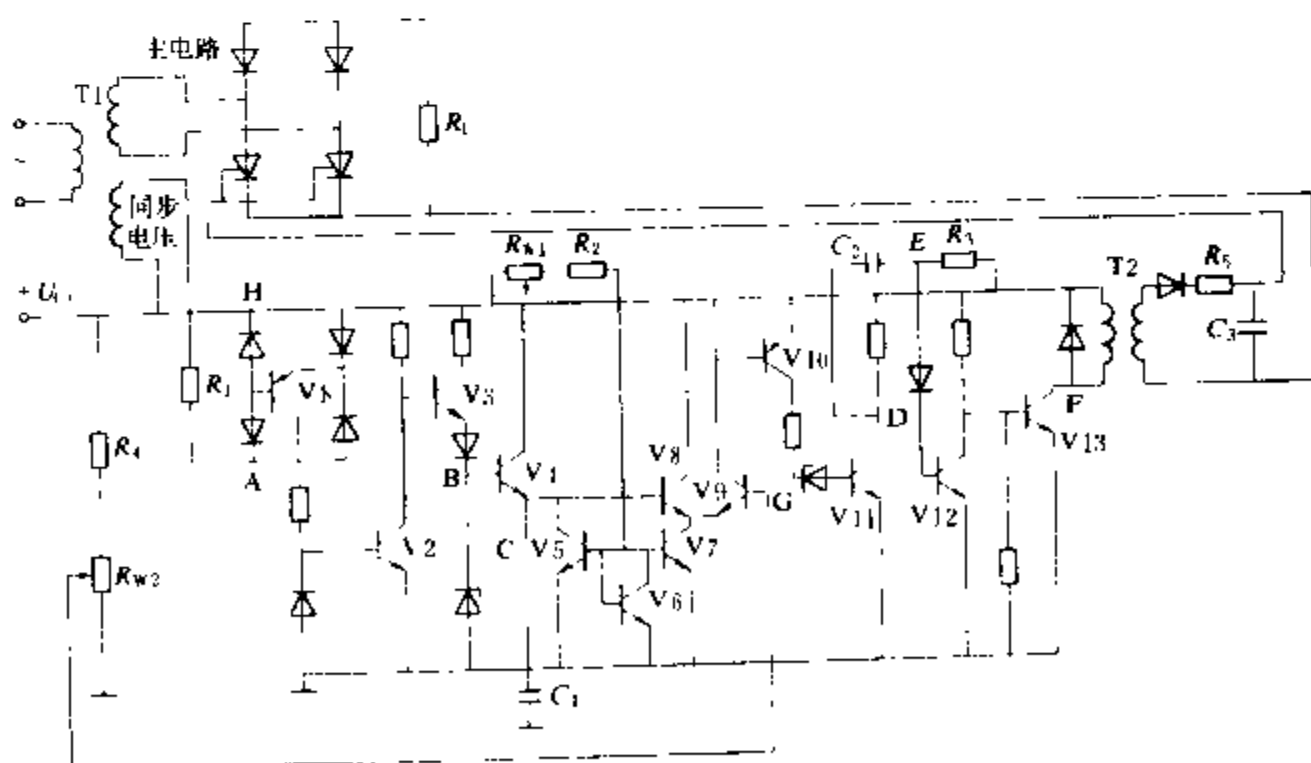


图4 同步信号为锯齿波的触发电路

形图如图2所示。

在图1所示的电路中,触发脉冲由 R_3 输出,触发电路与主电路在电气上有直接联系,不够安全。且当 R_3 阻值较大时,漏电流在 R_3 上的压降可能会使晶闸管误触发,因而常采用脉冲变压器 T 作为隔离变压器并输出触发脉冲(见图3)。图3虚线框内为门极—阴极电路示例, V 用以阻止在门极上加反向电压, R 是串联电阻(可调,防止门极电流过大), C 用于吸收噪声电压。

这种触发电路的优点是电路结构简单,调试容易,功率损耗小,有一定的抗干扰能力;缺点是线性度较差,输出脉冲较窄,功率也较小。一般用于移相范围小于 150° 、50 A 以下的小功率可控整流电路中。

同步信号为锯齿波的触发电路 如图4所示,该电路由同步检测、锯齿波形成、锯齿波电压综合比较放大和功率放大等部分组成。波形图如图5所示。交流同步电压经电阻 R_1 如到 A 端和 $+U_{CC}$ 。当同步电压过零时,由于 V_1 截止, B 点输出正脉冲,使 V_4 导通,电源 $+U_{CC}$ 通过 V_4 向 C_1 充电。由于充电时间常数很小, C 点电压上升很快。当 B 点正脉冲消失后, C_1 即停

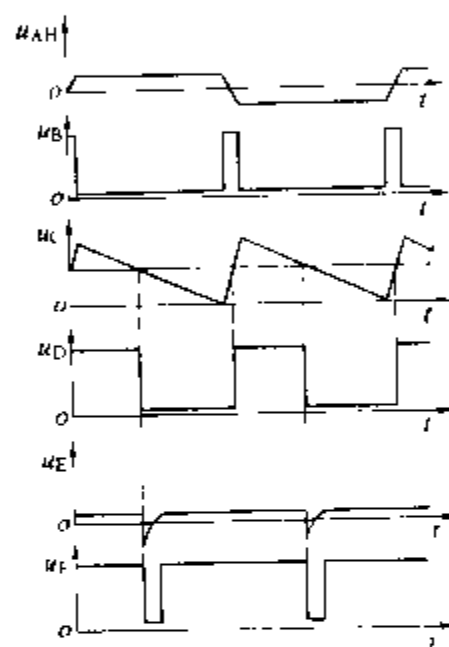


图5 图4触发电路波形图

止充电。接着 C_1 以恒定电流放电,形成锯齿波 U_C 。锯齿波的斜率决定于 R_2 、 R_{w1} 和 C_1 的数值,可由外接电位器 R_{w1} 调节。锯齿波与 G 端引入的移相控制电压进行比较放大。 V_{11} 、 V_{12} 构成单稳态电路, R_3 、 C_2 为微分电路。脉冲宽度由 R_3 、 C_2 的值决定,再经功率放大由 V_{13} 管 F 端输出。 u_F 经脉冲变压器 T_2 耦合至门极—阴极电路,给单相半控桥提供触发脉冲。对不同数值的同步电压,同步限流电阻 R_1 的选择可按下式

此触发电路适用于半

$$R_1 = \frac{\text{同步电压}}{3 \sim 4} \times 10^3 \Omega$$

控和全控桥式整流电路，亦适用于双向晶闸管或反并联晶闸管电路的交流相位控制。它具有锯齿波线性程度好、移相范围宽、控制方式简单、输出电流大等优点。生产厂已制成专用集成移相触发电路（如 KJ006 等），可供可控整流、交流调压、调光电路选用。

（张志清）

jingdianchang

静电场 (electrostatic field) 存在于静止带电体周围空间、以电场强度矢量表征的一种特殊形式的物质。静电场对静止电荷有作用力。在电工技术中，通常不必涉及个别原子的细微结构所呈现的微观电场，只研究上亿个以至更多带电粒子的统计平均效应。因此上述静止带电体是指宏观上相对于观察者没有运动的带电体。人们把静止电荷称为静电场的场源。在无限大真空中，两个静止点电荷之间的作用力，可由库仑定律确定。描述电场的基本物理量是电场强度矢量 E 和电位移矢量 D 。

均匀电场和非均匀电场 若空间某区域内各处的电场强度的量值和方向都相同，则称该区域中的电场为均匀电场，否则称非均匀电场。例如两块距离很小、平行的金属圆形薄板，带有等量异号电荷时，在极板中间部分区域内近似为均匀电场，而在薄板边缘附近为非均匀电场。

静电场中的导体与绝缘体 导体内存在大量自由电荷，如自由电子电荷。根据静止的特点，位于静电场中导体内部的电场强度必为零。否则，自由电荷将不会静止。导体所带电荷分布于其表面。绝缘体内自由电荷数量极少可忽略不计，但存在大量束缚电荷，如束缚电子与原子核电荷。在电场作用下，绝缘体内部会呈现大量的电偶极子，它们是成对的等量异号束缚电荷。绝缘体出现极化现象，并会改变原来的电场。此时可用电容率 ϵ 来表示绝缘体材料的极化特性，并有

$$D = \epsilon E$$

式中 D 是电位移矢量； E 是电场强度。

静电场的基本规律

(1) 高斯通量定理。在静电场中，由任意闭合面穿出的电位移通量等于该面内自由电荷 q 的代数和，即

$$\oint_S D \cdot dS = \sum q$$

相应的微分形式是

$$\nabla \cdot D = \rho$$

式中 ρ 是自由电荷体积密度。

(2) 静电场的守恒性。在静电场中，沿任一闭合路径移动单位正电荷的电场力所作的功为零，即功是守

恒的。它可用沿任一闭合路径的电场强度的环路积分为零来表示，即

$$\oint_l E \cdot dl = 0$$

相应的微分形式是

$$\nabla \times E = 0$$

由于具有守恒性，静电场还可以用标量电位 V 来描述。 V 与 E 的关系是

$$E = -\nabla V$$

静电场的能量 在各向同性线性电介质中，单位体积内的电场能量，即电场能量密度，为 $\frac{1}{2} D \cdot E$ 。整个静电场的能量 W_E 为

$$W_E = \int_V \frac{1}{2} D \cdot E dV$$

式中 dV 是体积元，积分限是整个静电场的体积。

介质分界面电场量满足的条件 在介质 1 和 2 的分界面上有：①介质 1、2 的电场强度切向分量 E_{1t} 、 E_{2t} 连续，即 $E_{1t} = E_{2t}$ 。②介质 1、2 的电位移法向分量 D_{1n} 、 D_{2n} 之差等于分界面上的自由电荷面密度 σ ，即 $D_{1n} - D_{2n} = \sigma$ 。这里法向规定由电介质 2 指向 1。自由电荷面密度 σ 为零时， D_{1n} 、 D_{2n} 连续，即 $D_{1n} = D_{2n}$ 。

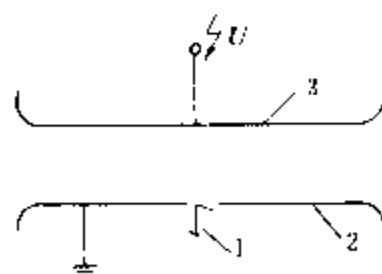
（方正翔）

jingdian dianyabiao

静电电压表 (electrostatic voltmeters)

利用静电作用力的原理构成的测量稳态电压的表计或装置。可直接测量直流高电压和频率直至 1MHz 的交流高电压。其原理是加电压于两平板型电极，电极就会受到所加电压产生的静电力作用，测量此静电力的的大小或由静电力引起的某一极板的偏移或偏转，即可知所加电压的大小。测量高电压的静电电压表一般在接地电极中部开一小孔，内放一可动电极（见图），静电力使可动电极偏转，同时带动其上的小镜子将由光源射出的光束反射到标尺上，该光标即可指示出电压值。静电力大小决定于电压有效值，故静电表测得的是电压的有效值。常用的静电电压表满刻度的测量准确度为 $\pm 1\% \sim \pm 3\%$ ，作成绝对仪用的静电电压表，其测量准确度可达 $\pm 0.01\%$ 。

静电电压表的优点是，可直接测量高电压，最高量



静电电压表电气原理图

1—可动电极；2—接地电极；3—高压电极

中国产 500 kV 静电电压表参见彩图插页第 16 页 66 图。

jingdian ganying

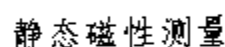
静电感应的作用 在高电压设备附近的导体，虽然它们与高电压设备之间没有直接的电连接，但导体受高电压设备静电场的影响，会产生静电感应现象。如果有些导体与大地之间的绝缘电阻不大，则经过一定时间后，与高电压带电体同号的电荷泄漏入地，使导体累积有相当数量的异号电荷，造成导体与地间有较大的电位差。人们如不慎与之接触，则将危及生命。同样理由，输电线路受近傍雷云的静电感应而积累某一极性电荷，当雷云对地放电后，这些电荷会在输电线路产生感应过电压波，有可能损坏电力系统中某些绝缘薄弱环节，造成事故。另一方面，静电感应起电机（范德格拉夫静电发生器）则是利用静电感应原理构成的直流高电压发生装置，应用于某些物理学科的研究领域。

(方正朔)

tingkat cacing celiang

静态磁性测量 (static magnetic characteristics measurement) 在恒定或缓慢变化磁场的磁化下, 磁性材料磁特性的测量。包括基本磁化曲线、

测量静态磁性的传统方法是冲击法，原理线路见图 (a)。对于环形试样，磁场强度 H 可以根据试样的



(a) 原理接线图; (b) 静态磁特性曲线

基本磁化曲线就是幅值不同的磁滞回线顶点的连接线，如图(b)中 $oabA_m$ 曲线。测量时应将磁化场从弱到强单调增加，并在不同幅值磁场 H_i 下，突然改变试样中磁场方向，由冲击检流计测出相应的磁感应强度 B_i 。依次测出各磁滞回线的顶点 $a (H_a, B_a)$ 、 $b (H_b, B_b)$ 、 \dots 、 $A_m (H_m, B_m)$ ，将这些顶点连接起来，便得到了基本磁化曲线。根据基本磁化曲线 ($B-H$)，可以绘出 $(\mu-H)$ 曲线，从而可确定磁导率。

通常要测定的是饱和磁滞回线，如图（b）中 $A_m B_r H_m (-A_m) E F A_m$ 回线。测量磁滞回线时，必须注意材料的磁滞特性，也就是测量时磁化场一定要按 $H_m \rightarrow 0 \rightarrow -H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_m$ 规律变化，使得试样磁状态按图（b）箭头所示方向改变，并测出相应的磁场强度和磁感应强度。这样就可绘出磁滞回线。由于磁滞回线的对称性，因此只要测出回线上半支，下半支便可按对称原则绘出。

若被测试样是条形的开磁路样品,则需要放在磁导计或电磁铁中磁化。上述冲击法对开磁路样品也完全适用,但此时不仅 B 要用冲击检流计测量, H 也要用冲击检流计测量。

冲击法灵敏度高,测量误差小于士(1~3)%,因此得到广泛应用。但它有一定的原理性误差,而且测量过程是不连续的,要逐点进行。若采用自动扫描磁化电源、电子积分器和 $X-Y$ 记录仪组合,便可形成静态磁性自动测量仪。它能连续自动磁化,并记录磁化曲线和磁滞回线。

(王德芳)

jubu fangdian

局部放电 (partial discharge) 电气设备绝缘结构中局部区域内的放电现象。这种放电只是绝缘在局部范围内被击穿,导体间绝缘并未发生贯穿性击穿,但若局部放电长期存在,则在一定条件下可造成设备绝缘电气强度的破坏。

放电起因及危害性 电气设备绝缘结构中若存在局部的电场较强处,或因制造工艺不完善、运行中有机物分解、绝缘受机械力作用而发生开裂等原因造成在电气设备绝缘中形成缺陷,则在电气设备运行时绝缘中的这些部位就容易击穿而发生局部放电。在金属(或半导体)电极的尖锐边缘处,或具有不同特性的绝缘层间,局部放电更易发生。

局部放电虽然只是绝缘局部发生击穿,但每次放电对绝缘都会有轻微损伤。造成损伤的原因有:①介质局部温度上升,氧化加速,使介质的电气、机械性能下降;②带电粒子撞击介质,切断分子结构;③放电作用下产生的活性气体与介质发生化学反应,使介质性能变坏。为保证电气设备在运行中有足够的可靠性,不允许在其绝缘中有局部放电,或只允许有轻微的局部放电。

表征局部放电的特性参量 有视在放电量、放电重复率、平均放电电流、放电功率、局部放电起始电压、熄灭电压等。

(1)视在放电量:每次局部放电时,绝缘的损伤与局部区域参与放电的电荷量有关。此电荷量称为真实放电量,实际上无法测量。但每次放电时,绝缘两侧导体上的电压会产生微小突变量 ΔU_x ,此值可以测得。定义 $q = C_x \Delta U_x$ (C_x 为导体间绝缘的电容量) 为视在放电量,它与真实放电量间有一定关系。

(2)放电重复率:在选定的时间间隔内测得的每秒内局部放电的平均次数。实际上重复率总是相对于一定的视在放电量而言的。

(3)平均放电电流:一定的时间间隔内,视在放电

量绝对值的总和与此时间间隔的比值。

(4)放电功率:一定的时间间隔内,视在放电量与产生放电时导体间电压瞬时值乘积的总和与此时间间隔的比值。

(5)局部放电起始电压:对电气设备绝缘施加逐步升高的试验电压时,局部放电视在放电量超过某一规定值时的最低试验电压值。

(6)局部放电熄灭电压:加于电气设备绝缘的试验电压从超过局部放电起始电压的较高值逐渐下降时,局部放电视在放电量小于某一规定值时的最高试验电压值。

(谈克雄)

jubufangdian shiyan

局部放电试验 (partial discharge test)

用仪器对被试品在承受高电压作用时产生的局部放电信号进行的探测或测量。高灵敏度的局部放电试验能发现绝缘内部的缺陷,是某些产品出厂试验的重要项目,也可作为验收试验或运行中设备的预防性试验。

局部放电试验起源于20世纪40年代对高压设备无线电干扰性质的研究,原称为电晕试验,后来规定只有大气中的局部放电才称为电晕,对一般绝缘的局部放电试验不再用电晕试验的名称。局部放电试验技术经几十年发展已日臻成熟,国际电工委员会(IEC)第270号出版物对该试验技术已作详细规定。先进的测试仪器配备有计算机数据处理设备,对放电的定性、定量和定位能作出更好的判断。对运行中设备进行连续在线监测局部放电的工作,也正在进行中。

局部放电试验电压依具体设备的标准或技术规范而定,通常在最高工作电压的1.1~1.5倍的范围内。考虑到实际运行中会出现过电压激发起局部放电,而后在运行电压下放电并不熄灭的情况,因此在试验中也人为地增加短时间的电压升高,然后降回到试验电压下持续一段时间进行测试。允许的局部放电量的标准因设备而异。对于工作场强很高,绝缘材料易在局部放电作用下损伤的设备,例如电容器、油纸套管、互感器、六氟化硫组合电器、环氧树脂浇铸变压器等,限制比较严格。有的设备使用的绝缘材料有很强的抗局部放电能力,例如电机绝缘用的添加云母的绝缘材料,允许有较高的局部放电水平。

局部放电会产生下述效应:①在提供电压的电回路中产生电脉冲信号;②在介质中产生功率损耗;③在紫外可见光波段直至无线电频率范围内有电磁辐射;④声辐射;⑤材料受放电作用后的化学变化。

针对不同的放电效应有不同的试验方法。比较常用的试验方法是对局部放电脉冲进行测量和对局部放

电的超声波辐射信号进行探测。

局部放电的电脉冲测量 有两种基本电路：①直接测量电路；②平衡测量电路。

直接测量电路 如图 1 所示。图 1 (a) 为电压脉

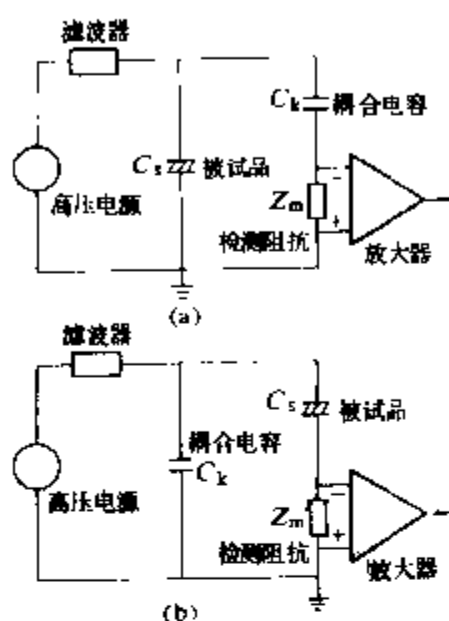


图 1 直接测量电路

(a) 电压脉冲探测；

(b) 电流脉冲探测

冲探测，其中电路检测阻抗与耦合电容器串联，局部放电脉冲电压的一部分加在检测阻抗上；图 1 (b) 为电流脉冲探测，其中电路的检测阻抗与试品相串联，试品的放电脉冲电流通过检测阻抗向放大器提供脉冲信号。

平衡测量电路

如图 2 所示。图 2

(a) 是桥式电路，可以调整到对外界干扰信号有最好的平衡效果；图 2 (b) 采用平衡输入单元，没有调整能力，当 C_k 和 C_s 性质相同时有理想的平衡效果。

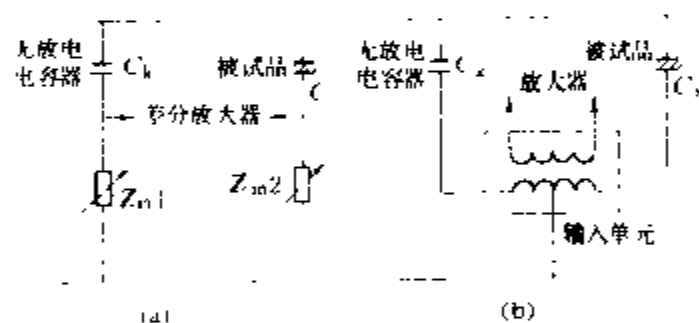


图 2 平衡电路

(a) 桥式电路；(b) 平衡输入单元

检测阻抗 也称作输入单元，是将局部放电的脉冲电压或电流转换成向放大器提供的脉冲电压信号的一个二端口网络。它通常是由电阻、电容和电感组成的电路，其频率特性要与放大器相配合。

试验用放大器 放大器的频率范围的选择取决于试品的性质、试验的目的、试验的环境条件及仪器设备条件等因素。宽频带测试能比较正确反映放电脉冲的波形，但往往受外界干扰影响较大。窄频带测试可以躲避某些强烈的外部干扰（例如无线电广播的干扰），宜于在工厂或户外现场的条件使用。但是它会对脉冲波形造成很大的畸变，当脉冲重复率较高或试品内有行波的折射、反射过程时，会出现因脉冲叠加的相位不同而引起的信号抵消现象。中国目前较普遍果用的测试频率为 10~300 kHz。

电量测量的校正 局部放电测试仪通常不能直

接得出视在放电量的数值，要用已知大小的脉冲注入测试回路来模拟局部放电，以求得回路的灵敏度。注入脉冲取自跃变幅值为 U_c 的方波发生器和一个电容量为 C_c 的电容器相串联的校准装置，接到被试品的两端，当 C_c 与被试品电容相比可以忽略时，注入电荷量 $q_c = U_c C_c$ 。校准通常在不加试验电压时进行，将校准脉冲的高度与实际施加电压时放电脉冲的高度相比较，便可定出试品的视在放电量。

局部放电的超声测量 探测局部放电的超声信号的主要目的是对放电源定位。超声波传递到装设在设备表面的传感器后转换成电信号，经放大后加以检测。由于声波传递过程的衰减受材料及传播途径的影响很大，用超声波作局部放电探测时，主要是利用信号传播的方向和声信号滞后于电信号的时延或不同点测得的声信号之间的时延来确定声源位置。声信号和电信号的联合测试可以取得最佳的定量和定位效果。

(王乃庆)

juyl wangluc

局域网 (local area network, LAN)

局限于部门专用的较小通信范围的计算机网络。局域网设在一座大楼或大院内，通信范围在几千米以内，其数据传输速率为 1~20 Mbit/s，延迟小，误码率低。局域网在文件、图形传递，电子信函，数据库存取，数字声音，数字图像，办公自动化，询问/应答等方面已得到广泛应用。

组成 局域网由传输媒体及附件、网络接口机、网络服务器以及网间互连器组成。微机、工作站等都可连接于局域网实现通信和资源共享。

(1) 传输媒体及附件：传输媒体有双绞线、同轴电缆和光纤。此外，无线电和红外线也已作为新的传输媒体用于局域网。附件有连接插头、终端匹配器、光电变换器等。

(2) 网络接口机：又称局域网控制器或适配器。它提供物理层和媒体访问控制于层成以上层的功能。随着局域网控制器芯片的固化层次的提高，局域网控制器的功能在不断增强。

(3) 网络服务器：由网络适配器、高档微机、大容量硬盘和打印机等组成。其功能是管理用户通信和共享资源。它采用了数据高速缓存和目录高速缓存技术，以加快网络的响应；采用了硬盘的磁道映射、磁盘映射和服务映射，以提高磁盘和文件服务器的可靠性；采用了硬盘阵列，以增大容量。

(4) 网间互连器：用于把二个以上局域网互连起来，实现透明传输。

分类 根据媒体访问的不同方法，有 CSMA/CD、

令牌传递总线、令牌环、时间片环等多种局域网：①CSMA/CD网。即载波侦听、多路访问/碰撞检测的总线网。计算机经网络适配器（即通信控制器）连到共享的总线。网络的访问原则如下：要发送帧的站，先侦听总线上的载波（CS）；以见空方可发帧的方式，实现多路访问（MA），争用总线；如检测到帧的碰撞（CD），则各自退避随机时间，以缓解争用的冲突。CSMA/CD访问方法的实现相对简单，但随着争用的严重，增大了网络的延迟。除总线网外，另一种是星网。入网的计算机各用大楼内现或的二条电话线，连接到集线器，呈星形拓扑网络。集线器起双向转发、冲突检测、故障旁路等作用。在多集线器网内，集线器又起路由选择作用。②令牌传递总线网。简称令牌总线网。经网络适配器而连接共享总线的各站，按站号的次序组成逻辑环路，依次传递令牌帧。收到令牌的站，根据令牌环行本站时间的长短，待发信息的优先级，可截获令牌，改发信息帧，或把令牌立刻转交给下一站。虽然令牌管理机制的实现较复杂，但采用令牌能有效地减小高负荷下网络的延迟。③令牌环网。一个计算机网络适配器内的发送器，经屏蔽或无屏蔽的双绞线，连到下一个计算机网络适配器内的接收器，逐站相连，形成物理闭合环路。不工作的站，其输入与输出直接旁路。有一令牌帧，逐站环行。各站根据本站待发信息帧的优先级及网上环行信息帧的优先级，相应地对令牌作预约、截留、或释放的操作，实现信息帧的传输。④时间片环网。由同轴电缆、工作站、重发器等组成的闭合环网。环内各段电缆的固有延迟，以及工作站和收发器的收发延迟，对环内传输的高频位脉冲而言，相当于一个环形移位寄存器。寄存器具有固定的位长，可划分成多个等长的时间片，每时间片可装载数据和控制信息，称为小分组，由源站发往目的站。

局域网络互连 局域网有统一的逻辑链路控制于层，可用网桥互连二个以上局域网络通信子网。在局域网文件服务器内，插上二（或多）块与各段局域网相连的网络适配器，配以相应的路由选择软件，可实现网桥功能。每段网络可以有不同的拓扑结构，也可使用不同媒体访问方法的网络适配器及传输媒体。网桥对所收到的帧，按目的地址确定路由。网桥也可配置在局域网的工作站上，可连接近、远程工作站。

采用网桥可以达到：①过滤通信量：如各段内部的相互通信局限在本段内，从而减轻整个网络的负荷；②扩大网的物理范围：解决单个局域网受到的地理长度的限制；③增大允许连接的工作站数目；④可使用不同物理层媒体，如基带电缆、宽带电缆和光纤等共存于一个局域网；⑤可互连不同媒体访问控制的网络，可把CSMA/CD、令牌总线、令牌环网互连。

不同操作系统的局域网互连、局域网与广域网互连，可采用X.25网关或符合其他网络体系结构的网关。互连传输速率可高达每秒几个兆比特。

局域网络操作系统 局域网络大都采用工作站服务器的方式，服务器是网络的中心，集中管理工作站的通信和资源共享。由驻留在工作站和服务器的网络操作系统之间的配合实现网络系统功能。网络操作系统包含：①单机操作系统。它是网络操作系统的基础。②网络服务（或称文件服务）程序。实现系统设备和文件的共享。③网络环境软件。把工作站的访问请求送到服务器，将服务器的应答送到工作站。④网络应用软件。用于改善用户工作环境，如网络数据库管理系统、电子邮件等。

在对等方式的局域网络内，各工作站兼具客户和服务器的功能。一个工作站可以访问网上其他工作站的共享资源，也可为其他工作站提供本站的共享资源服务。这种分布式控制具有很高的系统可靠性。（见网络软件）

发展 20世纪70年代后期为适应办公自动化的需要，推出了局域网产品。80年代逐步形成了标准，并固化或各种局域网控制器芯片，提高了网络适配器功能，如之网络操作系统功能的完善，促进了局域网的普及。80年代后期以FDDI（光纤分布式数据接口）高速光纤网为主干网，把为数众多的局域网互连起来组成大型局域网，使局域网在地域上和规模上都有突破。在局域网软件方面，支持不同操作系统的网络工作站和支持多种网络协议网络软件也已推出。

（张德馨）

juxing jisuanji

巨型计算机（super computer）在一定时期内采用最先进的计算机科学技术和工艺技术制造出的运算速度最快、存储容量最大、通道速率最高的计算机系统。巨型计算机主要用于繁复的科学计算和模拟，如聚核反应、卫星图像、天气预报、航天、地震、流体力学等研究。

20世纪60年代中，CDC公司推出了6600和7600机，是早期的巨型计算机。70年代中，出现了以CRAY-1为代表的现代巨型计算机。中国于1983年研制成每秒亿次的“银河”巨型计算机，1992年研制成每秒10亿次的“银河-I”巨型计算机。

提高巨型计算机的性能主要靠先进的工艺技术和并行处理技术。

工艺技术 巨型计算机的处理器周期仅1~2 ns，组装成的体积仅十几立方英寸，因此对材料、器件、电路、逻辑电子系统、精细加工、布局与布线、设计自动

化、微型组装和自动测试、高效冷却等技术都非常严格。如：①超高速器件。至今多数巨型计算机采用超高速硅双极型 ECL 逻辑门阵列。80 年代末，少数巨型计算机已开始采用低温氮冷却的 CMOS 门阵列及速度比硅 ECL 快的砷化镓门阵列。②高密度微组装技术。机器周期缩短到纳秒级，要求布线尽量短。采用数十层的陶瓷模块、热传导模块、多片载体和表面微组装技术。③高效致冷技术。由于器件密度高，单位体积功耗大，散热问题相当突出，巨型计算机采用空风冷、液冷、液氮沸腾冷却技术。

并行处理 高速处理是巨型计算机的关键。并行处理技术是提高处理速度的有效措施。早期的巨型计算机采用流水线多操作部件结构。后来又采用多处理机并行处理技术。如：①共享存储器多处理机。多台处理机通过总线开关网络连成共享存储器的结构，在同一操作系统下运行。由于资源竞争和 CPU 间通信的额外开销，处理机数目不能多。②分布存储器多处理机。相同功能的带局部存储器的大量处理器经互连网络组成。如超立方体阵列机含有 2^{14} 个处理单元，速度高达每秒 262 亿次浮点运算。

巨型计算机的昂贵非一般用户能问津，80 年代中推出了速度在每秒 1 亿次浮点运算以上，性能/价格比较高的小巨型机。它不是开发速度更高的芯片，而是利用现代最新电路，在并行处理上充分挖掘潜力。

在软件方面巨型计算机的操作系统已开始使用 UNIX。编程采用 FORTRAN、C、PASCAL、Ada 等向量化语言。向量并行化编译器以及高效的并行算法是提高程序执行速度的重要手段。

(张德馨)

juanj1

卷积 (convolution) 分析数学中关于两个函数的一种无界限积分运算。对函数 $f_1(t)$ 与 $f_2(t)$ 作如下运算

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau$$

时，此积分称为卷积积分，简称卷积。常用符号“*”表示 $f_1(t)$ 与 $f_2(t)$ 的卷积运算，即

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau = f_1(t) * f_2(t)$$

在线性动态电路分析中，若冲激响应为 $h(t)$ ，激励信号为 $e(t)$ ，则电路对 $e(t)$ 的零状态响应 $r(t)$ 等于 $e(t)$ 与 $h(t)$ 的卷积运算，即

$$r(t) = \int_0^t e(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

此处 $e(t)$ 应满足：当 $t < 0$ 时 $e(t) = 0$ ，即激励在 $t = 0$ 时

加入；当 $t < 0$ 时 $h(t) = 0$ ，即电路冲激响应函数满足因果特性。

卷积的主要性质有：

(1) 交换律

$$f_1(t) * f_2(t) = f_2(t) * f_1(t)$$

(2) 分配律

$$f_1(t) * [f_2(t) + f_3(t)] = f_1(t) * f_2(t) + f_1(t) * f_3(t)$$

(3) 结合律

$$[f_1(t) * f_2(t)] * f_3(t) = f_1(t) * [f_2(t) * f_3(t)]$$

(4) 微分

$$\frac{d}{dt} [f_1(t) * f_2(t)] = \frac{df_1(t)}{dt} * f_2(t)$$

(5) 积分

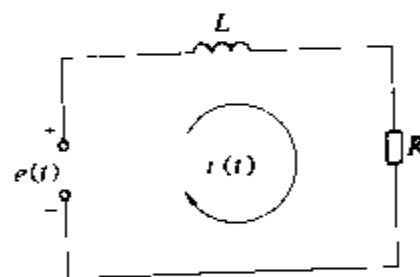
$$\int_{-\infty}^t [f_1(\lambda) * f_2(\lambda)] d\lambda = f_1(t) * \int_{-\infty}^t f_2(\lambda) d\lambda$$

(6) 与冲激函数的卷积

$$f(t) * \delta(t) = f(t)$$

(7) 与阶跃函数的卷积

$$f(t) * u(t) = \int_{-\infty}^t f(\lambda) d\lambda$$



RL 串联电路

卷积积分是计算线性电路和线性系统的时域响应的一个重要方法。下面给出一个利用卷积方法求电路的零状态响应的例子。图示电路中，响应是电流 $i(t)$ ，激励信号是电压源

$e(t)$ 。若已知 $e(t) = u(t) - u(t - t_0)$ ，冲激响应 $h(t) = \frac{1}{L} e^{-\frac{R}{L}t} u(t)$ ，其中 $u(t)$ 是单位阶跃函数，则在上述 $e(t)$ 条件下的响应 $i(t)$ 可用卷积积分公式求出，即

$$\begin{aligned} i(t) &= \int_0^t [u(\tau) - u(\tau - t_0)] \frac{1}{L} e^{-\frac{R}{L}(t-\tau)} d\tau \\ &= \frac{1}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) u(t) \\ &\quad - \frac{1}{R} [1 - e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}] u(t - t_0) \end{aligned}$$

(郑君里)

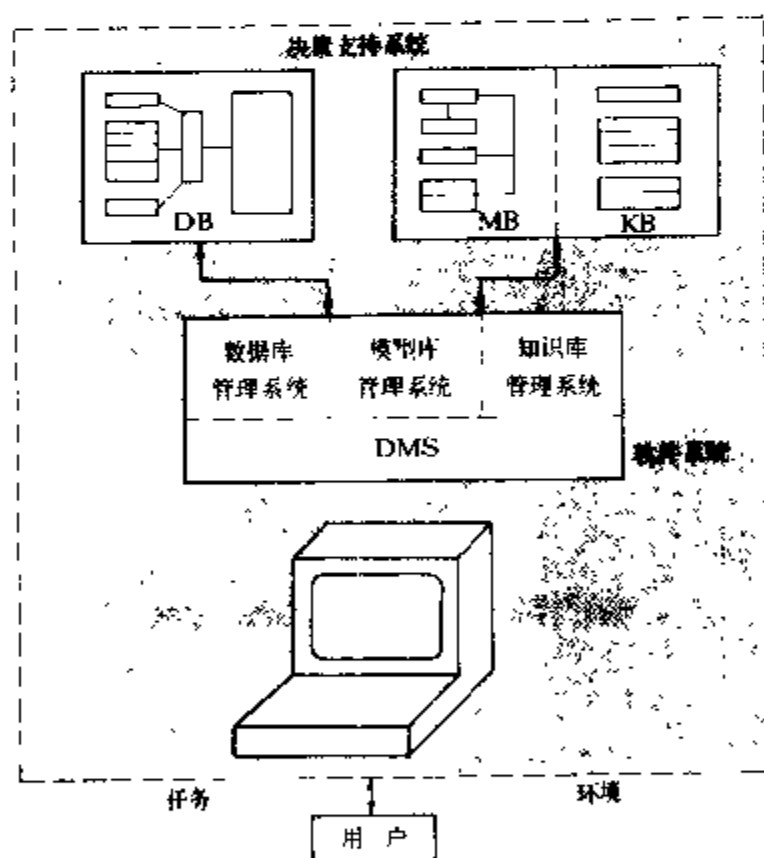
juce zhichi xitong

决策支持系统 (decision support system, DSS) 一个由人、计算机和应用环境三者组成的，能帮助决策者使用模型、知识和数据，面向解非程序化决策问题的入机交互系统。DSS 的概念是美国学

者 S. 莫顿 (Scott Morton) 于 20 世纪 70 年代提出的, 它以提高决策效果为目标。大量决策过程的环境和原则难以用明确的语言 (数学的或逻辑的、定量的或定性的) 描述, 这就是非程序化的 (非结构化和半结构化) 决策问题。解这类问题不仅要使用模型和数据, 还涉及管理规则、推理判断等知识, 以及决策者的经验。DSS 是模型驱动的系统, 围绕决策目标和模型库组织数据; DSS 是用户驱动的动态系统, 用户参与系统研制和运行, 而系统对用户有快速的响应能力。DSS 是一门综合经济管理理论、决策科学、控制论、行为科学和计算机科学的边缘性科学, 它已广泛用于企业决策管理、战略研究与规划、经济分析和资源管理等部门。

广义观点认为: 任何具有能帮助决策者进行决策功能的系统都称为决策支持系统。按照这种观点, 它也包括对结构化决策问题的支持。

内容和功能 DSS 的内容和功能有: ①模型库和方法库 (MB): 存储与所研究决策问题有关的模型与分析方法, 如预测、决策模型, 库存控制模型, 回归分析方法等。②知识库 (KB): 存放预估、分析、判断和推理等管理知识, 使系统智能化。③数据库 (DB): 收集、存储、处理与决策目标相关的数据、背景资料, 如



决策支持系统逻辑结构

竞争对手、新技术动态等。④友好人机界面 (DMS): 对用户提问有快速响应能力。⑤具有良好的系统结构: 能针对不同决策问题易于将模型、方法和数据链接成解题程序。DSS 逻辑结构如图所示。

发展方向 决策支持系统的主要发展方向有: ① DSS 与人工智能相结合, 开发智能化的三库、四库、五库系统, 并逐步向大型化联网方向发展。②开发

DSS 生成器, 提供一套快速开发专用 DSS 的能力。③ 开发 DSS 工具, 由一组硬件和软件构成, 包括新的专用语言、操作系统和图像软件, 以大大简化专用 DSS 的开发。

(巢来春)

jueyuan caoliao de changqi nairxing

绝缘材料的长期耐热性 (long-term thermal endurance of electrical insulating materials) 电气绝缘材料耐受长期暴露于高温下的能力。

国际电工委员会 (IEC) 和中国标准化委员会推荐以温度指数和相对温度指数表示绝缘材料的长期耐热性。温度指数是在热老化试验建立的耐热关系中对应于某个热寿命值 (通常为 20000 h) 的摄氏温度; 相对温度指数是在被试材料和参考材料经受相同的老化和诊断试验的对比中, 根据参考材料的已知温度指数及其对应的热寿命求得的被试材料的温度指数。

绝缘材料可因采用不同的评定寿终的参数而有不同的温度指数。

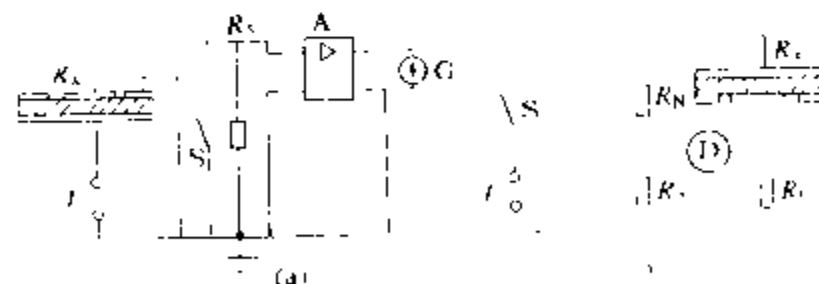
可根据绝缘材料的功用, 选择不同耐热性的绝缘材料组成一定耐温等级的绝缘系统, 即 A (90℃)、E (120℃)、B (130℃)、F (155℃)、H (180℃) 及 200℃、220℃、250℃ 等。

(刘耀南)

jueyuan dianzulu shiyan

绝缘电阻率试验 (test for insulation resistivity) 测量绝缘材料体积电阻率和表面电阻率的试验。材料的绝缘电阻率是用来比较各种绝缘材料的绝缘性能的重要参数。

测量原理 绝缘体积电阻和表面电阻的测量有直接法与比较法。直接法常用高阻计测量; 比较法常用电桥测量。如图 (a) 和图 (b) 所示。



绝缘电阻测量原理图

(a) 直接法—高阻计测量; (b) 比较法—电桥测量

U —直流电源电压; R_X —被测电阻; R_N —标准电阻;

S —开关; R_A 、 R_B —桥臂电阻; A —直流或调制放大器;

G —电流指示器; D —平衡指示器

用高阻计测量可直读电阻值。用电桥测量,当电桥平衡时,被测电阻值 $R_x = R_N \frac{R_A}{R_B}$, 式中 R_N 、 R_A 、 R_B 见图 (b)。

体积电阻率 ρ_v 或表面电阻率 ρ_s 可根据测得的体积电阻 R_v 或表面电阻 R_s 的值和试样电极的形状及尺寸通过计算获得。例如对于平板试样,其计算公式为

$$\rho_v = R_v \frac{A}{d}, \quad \rho_s = R_s \frac{l}{d}$$

式中 A 为电极有效面积, m^2 ; l 为电极长度, m ; d 为试样厚度, m (测 ρ_v); 或电极距离, m (测 ρ_s)。

试样和电极 按材料类型,如用平极、薄膜、管作试样,一般采用三电极系统,常用粘贴铝箔、导电橡皮、胶体石墨、真空蒸铝、烧银等制作电极,视被测材料选用。

测试技术 为获得准确数据,应注意下列几方面:

(1) 试验前对材料应作预处理,试验应在标准条件下进行,以消除温度、湿度的影响。

(2) 漏量前,试样短路放电时间至少 4 倍于前一次测量的充电时间,以消除残余电荷。

(3) 注意观察在试样上加压前与去除电压后检测仪器的偏转值是否相等,确保线路中无杂散电动势。

(4) 采用保护技术,消除漏电流的影响。

(5) 在规定的电化时间 (1 min) 下读出电阻值,以减少极化电流的影响。

(刘耀南)

jueryuanshan changxiaoying jingtiguan

绝缘栅场效应晶体管 (insulated gate field effect transistor) 具有一个或多个在电气上与沟道相互绝缘的栅极的场效应晶体管。绝缘栅场效应晶体管是利用半导体表面的电场效应进行工作的。由于它的栅极处于绝缘状态,所以输入电阻极高,可达 $10^{15} \Omega$ 。它和结型场效应晶体管的不同之处在于导电机理和电流控制原理不同。结型管是利用耗尽层的宽度变化来改变导电沟道的宽窄,从而达到控制漏极电流的目的;绝缘栅型管则是利用半导体表面的电场效应,由感应电荷的多少来改变导电沟道的宽窄,从而达到控制电流的目的。绝缘栅场效应晶体管中,目前常用的是以二氧化硅 (SiO_2) 为金属栅极和半导体之间的绝缘层即金属-氧化物-半导体,简称 MOS (metal-oxide-semiconductor)。它有 N 沟道和 P 沟道两类,而每一类又分增强型和耗尽型两种。所谓增强型就是在 $u_{GS} = 0$ 时,漏源之间没有导电沟道;反之,在 $u_{GS} = 0$ 时,漏源之间存在导电沟道的称为耗尽型。

N 沟道增强型 MOS 管 图 1 是这种管子的结构

示意图。它是以一块杂质浓度较低的 P 型硅片为衬底 (b), 在其中扩散两个 N^+ 区作为电极, 分别称为源极 (s) 和漏极 (d)。半导体表面覆盖 SiO_2 绝缘层, 在漏

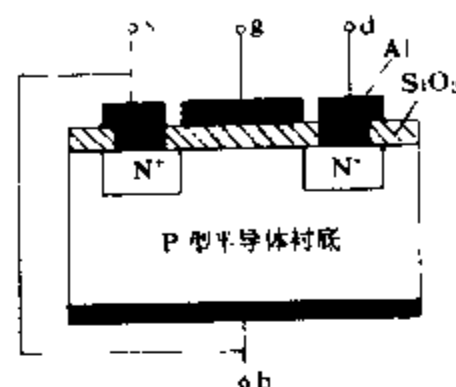


图 1 N 沟道增强型场效应管的结构示意图

源之间的绝缘层上再制造一层金属铝, 称为栅极 (g)。栅极与源极、漏极之间均是绝缘的。

MOS 管的衬底和源极通常是接在一起的。从图 2 中可看出, 当漏源电压 $u_{DS} = 0$ 时, 由于漏源之间

有两个背向的 PN 结, 当漏源电压为正时, 漏极与衬底之间的 PN 结加的是反向偏压, 漏极与源极之间不可能形成导电沟道, 因此, 漏极电流 i_D 等于零。

当栅极与源极之间加上一个小的正向电压 u_{GS} 时, 则在 SiO_2 的绝缘层中, 产生一个垂直于半导体表面、由栅极指向 P 型衬底的电场。这个电场排斥空穴而吸引电子, 使靠近二氧化硅一侧 P 型材料中的空穴被排斥, 形成耗尽层。当栅源电压 u_{GS} 增大到一定值后, 则在 P 型材料的表面感应出许多自由电子, 形成一个 N

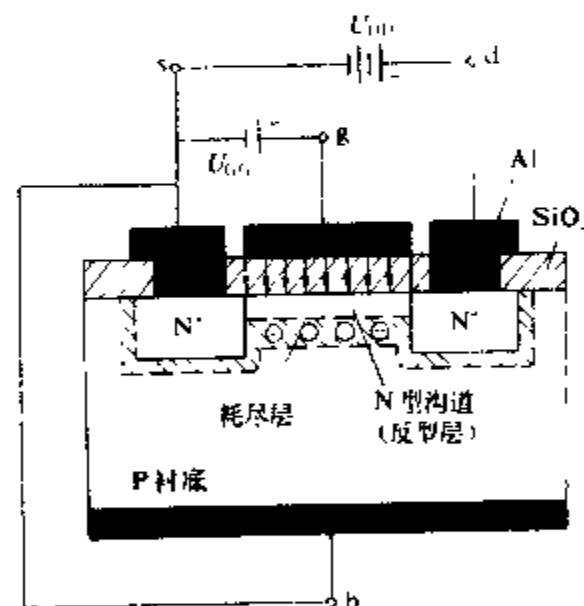


图 2 N 沟道增强型绝缘栅场效应管的工作原理

型薄层, 如图 2 所示。这个在 P 型材料中形成的 N 型层, 称为“反型层”, 它构成了漏源之间的导电沟道, 其厚度随着栅源电压 u_{GS} 进一步增大而增加。当漏源之间形成导电沟道后, 如果加上正的漏源电压 u_{DS} , 便产生漏极电流 i_D 。在漏源电压作用下, 开始产生漏极电流 i_D 时的栅源电压称为开启电压 U_T 。由于这类场效应管仅当 $u_{GS} > U_T$ 后才出现漏极电流 i_D , 故称为“增强型”。

图 3 (a)、(b) 分别是 N 沟道增强型 MOS 管的漏极特性和转移特性曲线。漏极特性曲线分为可变电阻

区、恒流区和夹断区三部分。转移特性曲线是 u_{DS} 使管子工作在漏极特性曲线的恒流区时所对应的 $i_D = f(u_{GS})$ 曲线 (可变电阻区对应的曲线未画出)。

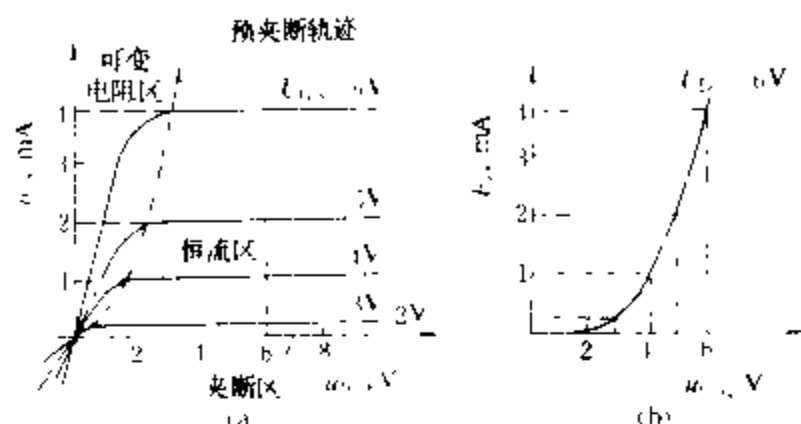


图3 N沟道增强型MOS管的特性曲线

(a) 漏极特性曲线; (b) 转移特性曲线

与结型场效应晶体管相似, 也可以给出 i_D 与 u_{GS} 的近似关系式

$$i_D = I_{DD} \left(\frac{u_{GS}}{U_T} - 1 \right)^2 \quad (u_{GS} > U_T)$$

式中 I_{DD} 是 $u_{GS} = 2U_T$ 时的 i_D 值。

N沟道耗尽型MOS管 这种管子在制造过程中, 在 SiO_2 绝缘层中掺入大量的正离子。在 $u_{GS} = 0$ 时, 在这些正离子所产生的电场的作用下, P型衬底表面已经出现反型层, 即漏源之间存在有导电沟道。 u_{GS} 为正时, 沟道加宽, i_D 增大; u_{GS} 为负时, 沟道变窄, i_D 减小。当 u_{GS} 减小到一定值 (负值) 时, 反型层消失, 漏源之间失去导电沟道, 这时的 u_{GS} 称为夹断电压 U_P 。由于这种管子的 u_{GS} 在一定范围内正负值均可控制 i_D 的大小, 故比结型场效应晶体管使用方便。

P沟道MOS管 如果在制造时, 把衬底改为N型, 漏极与源极为 P^+ 型, 则可构成P沟道增强型或耗尽型场效应管, 其工作原理与N型沟道场效应管相同。使用时 U_{CC} 、 U_{DD} 的极性应与N沟道MOS管相反。

四种MOS管的符号和特性曲线均画在图4中, 以便比较。图中, 场效应管各极附近标出的 \oplus 、 \ominus 符号, 表示正常使用时需施加的电源极性。

MOS管在使用时衬底和源极通常是接在一起的, 如果需要分开, 则衬源间的电压 u_{BS} 必须保证衬源间的PN结是反向偏置, 即NMOS管 U_{BS} 为负, PMOS管 U_{BS} 为正。

场效应管 (结型和绝缘栅型) 的主要参数

(1) 开启电压 U_T : 在 u_{DS} 为某一固定值的条件下能产生 i_D 所需的最小 $|u_{GS}|$ 值。

(2) 夹断电压 U_P : 在 u_{DS} 为某一固定值的条件下,

使 i_D 等于某一微小电流 (便于测量) 时所对应的 u_{GS} 。

(3) 饱和漏极电流 I_{DSS} : 在 $u_{GS} = 0$ 的条件下, 当 $u_{DS} > U_P$ 时的漏极电流。

(4) 直流输入电阻 $R_{GS(DC)}$: 栅源电压和栅极电流的比值。

(5) 低频跨导 g_m : 在 u_{DS} 为某一固定值的条件下, i_D 的微小变化量和引起它变化的 u_{GS} 的微小变化量之间的比值, 即

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{u_{DS}=\text{常数}}$$

g_m 的单位为 S (西门子) 或 mS。

(6) 极间电容: 场效应管的三个电极之间存在极间电容, 即栅源电容 C_{GS} 、栅漏电容 C_{GD} 和漏源电容 C_{DS} 。 C_{GS} 、 C_{GD} 的数值一般为 $1 \sim 3 \text{ pF}$, C_{DS} 约为 $0.1 \sim 1 \text{ pF}$ 。管子用于高频电路时, 要考虑这些电容的影响。

(7) 最大漏极电流 I_{DM} : 管子在工作时允许的最大漏极电流。最大耗散功率 P_{DM} , 是决定管子温升的主要参数。

(8) 漏源击穿电压 $U_{(BR)DS}$ 和栅源击穿电压 $U_{(BR)GS}$: 在增加漏源电压 u_{DS} 时, 使 i_D 开始剧增时的 u_{DS} 称为

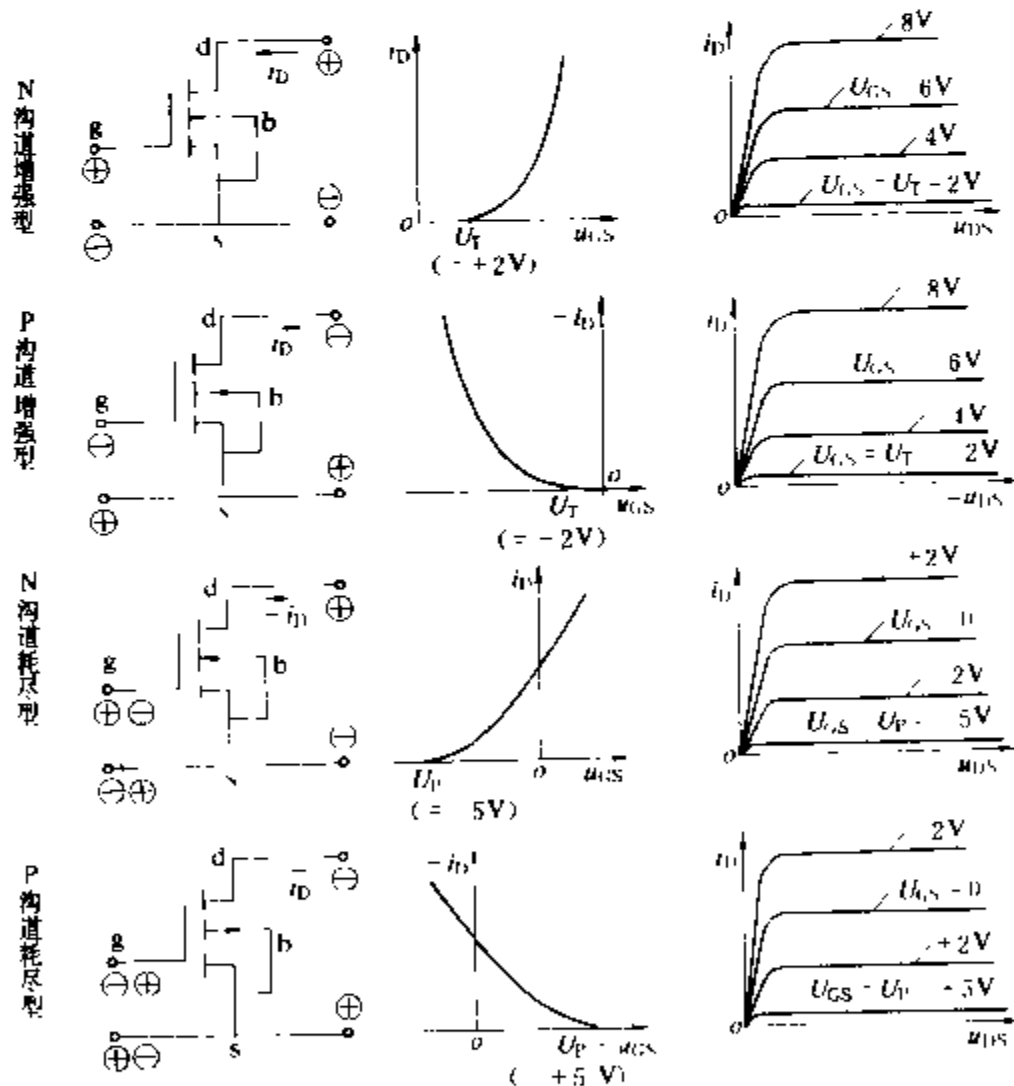


图4 四种MOS场效应管的特性曲线

$U_{(BR)DS}$; 使栅源间PN结反向饱和电流 (即栅极电流) 急剧增加时的反向电压 u_{GS} 称为 $U_{(BR)GS}$ 。

MOS场效应管的输入电阻极高, 因此, 由外界静电感应所产生的电荷不易泄漏, 而栅极上的 SiO_2 绝缘

层又很薄,这将在栅极上产生很高的电场强度,以致引起绝缘层击穿而损坏管子。为此,管子在存放时,应将各极引线短接。焊接时,要将电烙铁外壳接上可靠地

线,或者在焊接时,将电烙铁与电源暂时脱离。目前,常在 MOS 管输入端加置保护措施。保护方法很多,但原理上都一样,就是在输入端与栅极之间设置一个串联限流电阻和一个并联的钳位保护电路。图 5 所示是常用的一种。当发

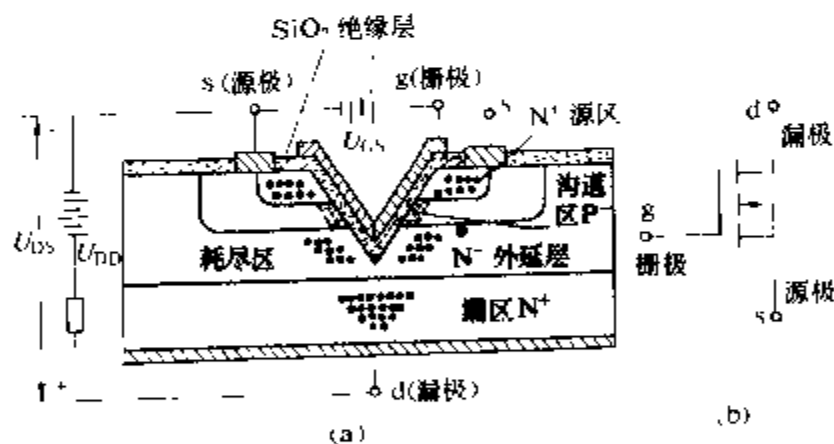
生过电压时(无论是正向还是反向),V1 或 V2 中总有一只管子呈稳压状态,电流通过 R 产生电压降,从而限制了加在 g、s 间的正、负方向的电压,起到保护管子的作用。

(顾立麓)

jueyuanshan changxiaoying gonglü jingtiguan

绝缘栅场效应功率晶体管 (insulated gate field effect power transistor) 一种采用纵向

(垂直)导电沟道,用大规模集成电路技术将许多小 MOS 管管芯并联起来,以扩大漏极电流及功率容量的功率 MOS 管,又称为 VMOS 管。其结构示意图如图



VMOS 管的结构和符号

(a) 结构示意图; (b) 符号

(a) 所示。它是在硅片上刻蚀出一定宽度、深度和长度的 V 形槽,然后把器件做在槽的两壁而成。一般小功率场效应管虽然输入阻抗较高,但带负载的能力很低;一般大功率晶体管虽然能输出较大的功率,但由于输入阻抗较低,输入端需要较大的推动电流才能工作,因此还要有较复杂的推动级。VMOS 管兼有上述两种管子的优点,在设计线路时,可使线路大为简化。它是近年来发展起来的一种新型器件。

和普通大功率晶体管相比,VMOS 场效应功率管有如下一些优点:

(1) VMOS 管具有很高的输入阻抗 ($10^9 \sim 10^{11} \Omega$),其输入端能直接与 CMOS、TTL 集成电路(见集成逻辑门电路)和其他高阻抗器件连接。

(2) VMOS 管在工作时的输入电流甚微 ($0.1 \mu A$ 以下),因此器件的驱动功率很小,属电压控制器件。但电流放大系数可高达 10^9 。所以单个 VMOS 管经常可用来代替由两三只普通晶体管组成的复合管。

(3) VMOS 管是单极型电子器件,没有普通晶体管固有的少子存储效应,开关时间短,开关损耗小。适合于高频高速工作。

(4) VMOS 管具有负的电流温度系数,即在栅源电压不变的情况下,导通电流会随温度的上升而下降(普通晶体管正相反),因而 VMOS 管不存在由于二次击穿引起管子损坏的现象,使它特别适合于做大功率器件。

由于 VMOS 场效应功率管所具有的优越性能,已使它用在很多方面:如用于 CMOS、TTL 接口电路,高速开关,开关电源,直流转换,射频功放,高级音响系统,线性放大,电动机驱动等。

中国已生产该器件的系列产品,电流为 $1 \sim 10 A$;功率为 $15 \sim 100 W$,并且在不断发展中。

国外已产生出由场效应管和双极型功率晶体管联合结构的新功率管,简称绝缘栅双极型晶体管 (insulated-gate bipolar transistor, IGBT)。场效应管作为输入级,双极型功率晶体管作为输出级,前者取其推动功率小,后者取其输出功率大的优点。

(顾立麓)

jueyuan zhenduan jishu

绝缘诊断技术 (insulation diagnosis)

通过对绝缘的试验和各种特性(特征)的测量,了解及评估绝缘在运行过程中的状态,从而能早期发现故障的技术。电力设备绝缘在运行中受到电、热、机械、环境等各种因素的作用,其性能将逐渐劣化,以致出现缺陷,造成故障,引起供电中断。绝缘诊断技术的目的就是早期发现故障。推行并发展绝缘诊断技术可显著提高电力设备及电力系统的运行可靠性,从而带来明显的经济效益。

工作原理及分类 绝缘诊断技术包括三个基本环节:①正确选用各种传感器及测量手段,检测或监测被试对象的各种特性,采集各种特征参数;②对原始的杂乱信息加以分析处理(数据处理),去除干扰,提取反映被试对象运行状态最敏感、最有效的特征参数;③根据提取的特征参数和对绝缘老化过程的知识以及运行经验,参照有关规程对绝缘运行状态进行识别、判断并对其发展趋势进行预测,从而对故障提供预警,并能为

下一步设备维修决策提供技术根据。

诊断技术有离线和在线之分。离线诊断要求被试设备退出运行状态,通常周期性间断施行。其缺点是:①需停电进行,而不少重要电力设备轻易不能停止运行;②只能周期性进行而不能连续地随时监视,而绝缘有可能在诊断间断期间发生故障;③停电后的设备状态(如作用电场、温升等)和运行中的不符,影响诊断准确。在线诊断的特点是可以对设备在运行状态下进行连续监测和判断,故可避免离线诊断的上述缺点,使判断更加准确。随着传感、信息处理及电子计算机技术的进步,在线诊断技术也得到迅速发展。在线诊断技术的不足是通常投资较大,故适用于大型重要设备及变电所。

绝缘诊断过程流程图示意图见图1。

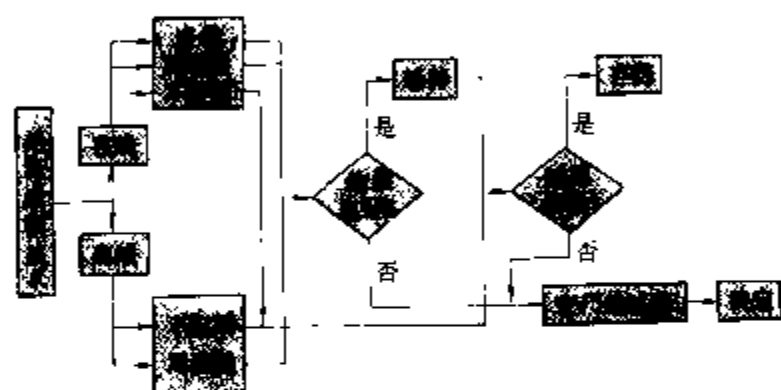


图1 电力设备绝缘诊断过程流程图示意图

绝缘特性试验。为了对绝缘状态作出判断,需对绝缘进行各种试验,也称绝缘预防性试验。试验可分为两大类:①破坏性试验,即耐压试验;②非破坏性试验。耐压试验对绝缘的考验严格,能保证绝缘具有一定的绝缘水平或裕度;缺点是只能离线进行,并可能在试验时给绝缘造成损伤。非破坏性试验是在较低电压下或用其他不会损伤绝缘的方法测量绝缘的各种特性,从而判断绝缘内部的缺陷。实践证明,这类方法是有效的;其缺点是对绝缘耐压水平的判断比较间接,尤其对于周期性的离线试验更不易判断准确。两类试验是相辅相成的。耐压试验往往是在非破坏性试验之后才进行,而如果非破坏性试验已表明绝缘存在不正常情况,则必须在查明原因尽量加以消除后再进行耐压试验,以避免发生不应有的击穿。在线诊断采用的是非破坏性试验方法,但由于可连续监测,除测定绝缘特性的数值外,还可分析特性随时间的变化趋势,从而显著提高了其判断的准确性。

作破坏性试验即耐压试验时,可一并进行泄漏电流试验、交流电流激增点试验等。

非破坏性试验包括:①绝缘电阻试验;②电容率与损耗因数试验;③绝缘不平衡电流试验;④局部放电试验;⑤绝缘油的气相色谱分析等。

诊断方法 由于绝缘的特征和其状态一般不是一一对应的,因而要根据研究与经验,建立一定的诊断规则。根据诊断规则的不同可将诊断方法分为三类,即①逻辑诊断;②模糊诊断;③统计诊断。

逻辑诊断 逻辑诊断中将特征只归结为“有”和“无”两种(若特征参数大于某给定的阈值则为“有”该特征,否则为“无”),诊断对象的状态同样只归结为“有”和“无”,或“好”和“坏”两种,即特征和状态均采用二值逻辑量来描述。逻辑诊断简单明了,应用较广,但把问题过于简化,诊断精确度较低。

模糊诊断 考虑到被试对象的特征及状态评价的主观不确定性,即模糊性,许多情况不能简单地用“有”、“无”和“好”、“坏”来评定。模糊诊断中被试对象的特征和状态不用二值逻辑量描述,而用多值逻辑的特征函数来描述,如某特征“很强”、“强”、“一般”、“弱”、“很弱”;某故障“严重”、“较严重”、“一般”、“轻微”、“无”等,然后按特征或状态参数的取值量确定归入某一类别。如采用连续变化的特征函数,判断可更加精确。

统计诊断 统计诊断考虑到被试对象特征参数分布的不确定性,即统计性,对于处于同样状态的同类设备,其特征参数并不相同,而按一定的统计规律分布。如图2所示,完好绝缘1和损坏绝缘2的某特征参数 x 的概率密度曲线分别为 $f_1(x)$ 及 $f_2(x)$,均值分别为 \bar{x}_1 及 \bar{x}_2 。如 $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 是完全分离的[图2(a)],则可在 a 、 b 区间中选择一点作为阈值 x_0 ,当 $x \leq x_0$ 时,判定绝缘状态正常,当 $x > x_0$ 时判定绝缘损坏。 x_0 接近 a 值,则偏于安全,接近 b 值则反之。但大多数情况下, $f_1(x)$ 和 $f_2(x)$ 是重叠的[图2(b)],这时不论怎样确定 x_0 都有发生虚警(x_0 右边的阴影面积)和漏判(x_0 左边阴影面积)的可能。虚警及漏判都会造成损失。为提高诊断的确诊率也需付出如添置设备及增加人员等代价。统计诊断要在考虑到上述各种因素后确定合适的诊断规则,使损失最小。

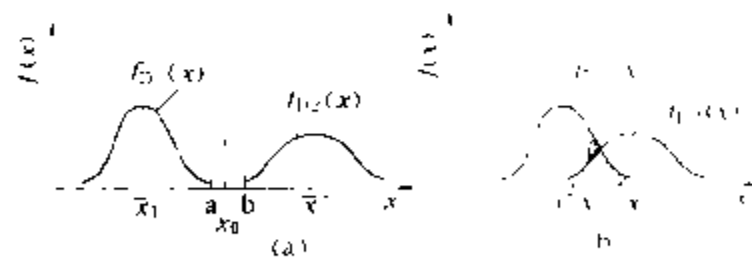


图2 某特征参数的概率密度

(a) 绝缘完好和损坏时概率密度曲线不重叠;
(b) 两者重叠

模糊诊断和统计诊断的精确度较高,但方法复杂,还在研究发展之中。目前绝缘诊断中主要仍采用逻辑诊断。

计算机辅助监测与诊断系统 采用计算机进行自动监测与诊断可保证判断的客观性与可靠性,并能提高工作效率,特别适合于在线诊断。一般包括如下组成部分:①数据采集;②计算机;③输出结果及报警;④数据传输与通信。为了抑制现场电磁干扰,可采用光纤传输信号。系统的复杂程度可以相差很大。最简单的是由便携式数据采集器和计算机组成的可分离的联机系统,数据采集器由计算机输入测试程序后携带到现场

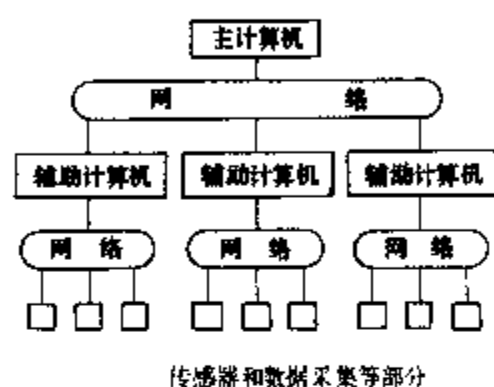


图3 分布式计算机监测诊断系统

进行测试,测试完毕后再将数据输入计算机储存并进行处理。这种系统只能进行定期检测诊断。以单片机为核心,结合传感器、多路开关、模数转换、微型打印机和固化在可编程序存储器中的软件等可组成最简单的连续监测诊断系统。采用单台计算机代替单片机,可以提高系统的分析诊断功能。面向多台设备乃至整个变电所的连续监测系统,可采用多个计算机的分级管理形式(图3)。功能较强的主计算机负责整个系统的管理、控制和诊断,各个辅助计算机分别承担不同设备的数据采集及初步诊断。主计算机与各辅助计算机通过网络进行通信联络。

参考书目

陈克兴,李川奇.设备状态监测与故障诊断.北京:科学技术文献出版社,1991

Working Group 33/15.08. Dielectric Diagnosis of Electrical Equipment for AC Applications and its Effects on Insulation Coordination. (State of the Art Report). CIGRE, 1990

(朱德恒)

jueyuanzi ganshanluo shiyan

绝缘子干闪络试验 (dry flashover test of insulators) 见闪络试验。

jueyuanzi shishanluo shiyan

绝缘子湿闪络试验 (wet flashover test of insulators) 见闪络试验。

jueyuanzi wuhui fangdian shiyan

绝缘子污秽放电试验 (pollution discharge test of insulators) 测量污染绝缘子的放电特性,包括测量电压、电流等的试验。试验目的是确定绝缘子的耐污性能。

绝缘子污秽放电试验,可分自然污秽试验和人工污秽试验。

自然污秽试验 在自然污秽环境中正常运行电压下进行的绝缘子污秽试验。在所选的污秽环境中建立试验站,把各种绝缘子安装于站内带电运行,长期记录各种数据,如气候条件、绝缘子上积污情况、绝缘子的泄漏电流幅值大小和脉冲频数、绝缘子能耐受运行的时日等,从而比较绝缘子的耐污性能优劣。这种试验的优点是:运行条件和影响因素比较接近实际,可以考验绝缘子的自洁性能,便于筛选绝缘子。缺点是:需要建造较高运行电压的自然污秽试验站;需要较长时间才能得到结论;由于影响因素复杂多变,对结果很难进行分析。有时将运行中自然积污的绝缘子送到人工雾室测试污闪电压,可以加快试验过程。

人工污秽试验 在人工创造的污秽环境和条件下,用合适电源进行的绝缘子污秽试验。人工污秽试验方法很多,使用较广的为固体污层法(硅藻土法)和盐雾法。前法是用硅藻土、食盐和水制成混合液,按一定的盐密和灰密,涂刷到绝缘子表面,干燥后送入雾室试验。后法是将一定含盐量的NaCl溶液,用标准喷雾器喷出盐雾,使绝缘子在盐雾气氛中进行试验。对人工污秽试验的要求是等价性和重复性好,但由于影响因素复杂,不同人工污秽试验结果间的可比性较差。人工污秽试验的优点是:能在较短时间内取得结果,试验条件可控,结果便于分析。缺点是:试验条件与实际情况有差异,不能考验绝缘子的自洁性能。人工污秽试验筛选绝缘子的结果,常与自然污秽试验筛选的结果不同。

人工污秽试验 在人工创造的污秽环境和条件下,用合适电源进行的绝缘子污秽试验。人工污秽试验方法很多,使用较广的为固体污层法(硅藻土法)和盐雾法。前法是用硅藻土、食盐和水制成混合液,按一定的盐密和灰密,涂刷到绝缘子表面,干燥后送入雾室试验。后法是将一定含盐量的NaCl溶液,用标准喷雾器喷出盐雾,使绝缘子在盐雾气氛中进行试验。对人工污秽试验的要求是等价性和重复性好,但由于影响因素复杂,不同人工污秽试验结果间的可比性较差。人工污秽试验的优点是:能在较短时间内取得结果,试验条件可控,结果便于分析。缺点是:试验条件与实际情况有差异,不能考验绝缘子的自洁性能。人工污秽试验筛选绝缘子的结果,常与自然污秽试验筛选的结果不同。

(张仁豫)

K

kalman lübo

卡尔曼滤波 (Kalman filtering) R. E. 卡尔曼提出的, 将与信号夹杂在一起的噪声尽可能消除掉, 并将所需要的信号分离出来的一种状态估计方法。

以前有一种状态估计方法称为维纳滤波, 它在第二次世界大战期间得到了应用。其缺点在于: ①必须使用全部的历史观测数据, 存储量和计算量都很大; ②当获得新的观测数据时, 没有合适的递推算法; ③很难用于非平稳过程的滤波问题。为克服上述缺点, 在 60 年代初, 美国数学家 R. E. 卡尔曼 (R. E. Kalman) 等人发展了一种递推滤波方法, 即现称的卡尔曼滤波。

利用量测数据集 $z = \{z(\tau); \tau \leq t'\}$ 对状态 $x(t)$ 进行估计, 得到估计值 $\hat{x}(t|t')$ 。根据 t 和 t' 的关系, 估计问题可以分为如下三类:

- (1) $t' = t$, 称为滤波问题。
- (2) $t' < t$, 称为预测问题或外推问题。
- (3) $t' > t$, 称为平滑问题或内插问题。

如果不加区分, 这三类问题可统称为滤波问题或估计问题。

下面只说明离散系统的滤波问题 ($t = t'$ 情况)。

系统的状态方程和观测方程分别为

$$x_k = \Phi_{k,k-1}x_{k-1} + W_{k-1}, \quad x(t_0) = x_0 \quad (1)$$

$$z_k = H_k x_k + V_k \quad (2)$$

式中 x_k 为 n 维状态向量; z_k 为 m 维观测向量; W_{k-1} 为 n 维输入 (或动态、模型) 噪声; V_k 为 m 维观测噪声; W_{k-1} 和 V_k 都是零均值的白噪声序列。 $\Phi_{k,k-1}$ 为 $n \times n$ 状态转移矩阵; H_k 为 $m \times n$ 观测矩阵。

可得卡尔曼递推滤波公式如下

$$\hat{x}_k = \Phi_{k,k-1}\hat{x}_{k-1} + K_k(z_k - H_k\Phi_{k,k-1}\hat{x}_{k-1})$$

$$\hat{x}_0 = \bar{x}_0 = E(x_0) \quad (3)$$

$$\text{式中 } K_k = P_{k|k-1}H_k^T(H_kP_{k|k-1}H_k^T + R_k)^{-1} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} P_{k|k-1} &\stackrel{\text{def}}{=} E\tilde{x}_{k|k-1}\tilde{x}_{k|k-1}^T \\ &= \Phi_{k,k-1}P_{k-1}\Phi_{k,k-1}^T + Q_{k-1} \\ \tilde{x}_{k|k-1} &\stackrel{\text{def}}{=} x_k - \hat{x}_{k|k-1} = x_k - \Phi_{k,k-1}\hat{x}_{k-1} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

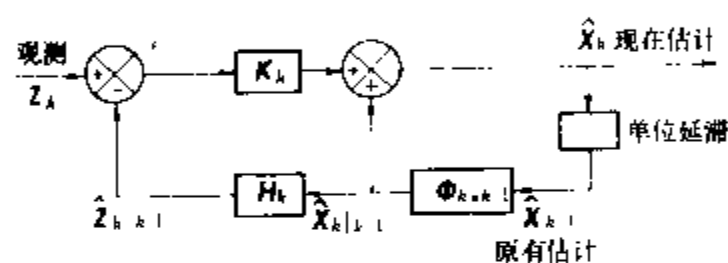
$$\left. \begin{aligned} P_k &\stackrel{\text{def}}{=} E\tilde{x}_k\tilde{x}_k^T \\ &= (I - K_kH_k)P_{k|k-1} \\ P_0 &= \text{Var}x_0, \tilde{x}_k \stackrel{\text{def}}{=} x_k - \hat{x}_k \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} Ew_k &= 0, Ev_k = 0, \text{Cov}(w_k, v_j) = Ew_kv_j^T = 0 \\ \text{Cov}(w_k, w_j) &= Ew_kw_j^T = Q_k\delta_{kj}, \delta_{kj} = \begin{cases} 1 & k=j \\ 0 & k \neq j \end{cases} \\ \text{Cov}(v_k, v_j) &= Ev_kv_j^T = R_k\delta_{kj} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\text{Cov}(x_0, w_k) = Ex_0w_k^T = 0, \text{Cov}(x_0, v_k) = Ex_0v_k^T = 0$$

这里, 式 (3) 称为滤波方程, 式 (4) 称为增益方程, 式 (5) 称为预报误差 (验前) 方差方程, 式 (6) 称为滤波误差 (验后) 方差方程, 式 (7) 是输入噪声 W_k 和观测噪声 V_k 的统计特性。

卡尔曼滤波的实质是一步预测加校正, 式 (3) 右端第一项是一步预测, 第二项是校正, 括号中的量是第 k 次观测中的新息。滤波的工作原理如图所示。



离散系统卡尔曼滤波

参考书目

谢绪恒, 现代控制理论基础, 沈阳: 辽宁人民出版社, 1981

(童建中 于 渤)

kaitang xitong hulian

开放系统互连 (open system interconnection) 开放系统之间交换信息的标准, 简称 OSI。

它是把数据通信、计算机网络和分布式信息处理融为一体的一系列化标准。其作用是规定各种信息处理系统在互连 (接), 互通 (信) 和协作 (操作) 时应该遵守的规范。

开放系统是指在实开放系统上, 按 OSI 标准实现互连、互通和协作功能的有关部分。所有与互连无关的部分不属于 OSI 的范畴。实开放系统是指一个能执行信息处理和 (或) 信息传送的自治整体。它是一个 (多) 台计算机、有关软件、外设、终端、操作员、物理过程、信息传送手段等组成的集合。

OSI 范畴内, 采用自上而下, 逐步求精的分级体系结构。最高一级抽象是 OSI 体系结构, 主要是 OSI 参考模型, 它提供整个 OSI 体系框架及公共参考概念和术语; 其次一级抽象是 OSI 服务定义, 有连接和无连接二种方式; 最低一级的抽象是 OSI 协议规范说明。

严格规定同等实体通信时必须遵守的规则。

分层原理 OSI 参考模型的基本构造化技术是将每个开放系统在逻辑上分成有序的 7 (1, ..., N-1, N, N+1, ..., 7) 个子系统。在互连的开放系统中, 位于同 N 序的子系统集成起来构成参考模型中的 N 层。

分层的基本概念一方面是每一层 N 都在其低一层 N-1 所提供的服务基础上增加新的功能。而最高层则提供了运行分布处理应用过程所需的完整的服务集合。另一方面是通过定义某一层向相邻的高层所提供服务的集合来保证各层之间的相互独立性, 而并不限制各层的具体实现, 从而有充分的灵活性。

有关术语 ①实体。N 实体是 N 子系统内的活动元素。同等实体是同一层内的实体。②服务。N 服务是 N 层及其低层向 N+1 实体提供的一种能力 (如排序, 出错通知)。③功能。N 功能是一个 N 实体活动的一部分 (如流量控制, 网络路由选择, 数据传送)。④协议。N 协议是一组规则和格式, 它控制着在不同开放系统中执行 N 功能的 N 实体间的相互通信。⑤连接。为了在二个或多个同等 N+1 实体之间交换数据, 必须先在这 N 层中, 用 N 协议在这些 N+1 实体间建立联系。然后才能利用 N 服务在 N+1 实体间交换数据。数据交换结束, 可以释放连接。这种方式称“连接方式”, 这是参考模型定义的基本通信方式。与之相对的是“无连接方式”。

OSI 七层模型 从低层到高层依次是物理层、数据链路层、网络层、运输层、会话层、表示层、应用层。①物理层。规定在物理连接上传输比特序列的机械、电气、功能和规程的特性。②数据链路层。在相邻的结点间可靠地传输数据块。检查并纠正物理连接上的传输差错, 提供流量控制功能。③网络层。在源数据电路终接设备 (DCE) (见分组交换公用数据网) 和目的 DCE 间可靠地传输数据分组。具有路由选择、寻址和流量控制等功能。④运输层。在端开放系统之间实现独立于通信子网的高效可靠数据交换, 向高层提供不变的通用的接口。⑤会话层。组织和管理协同工作的各高层实体间的交互和对话的同步。⑥表示层。为应用实体在通信中用到的信息提供表示方法和各种表示方法之间的转换。⑦应用层。为应用进程访问 OSI 环境提供服务, 其中: 公用应用服务元素是各种应用都需要而与应用性质相对无关的公共服务; 特定应用服务元素是向用户提供各种特定的服务, 如信据处理系统 (MHS)、文卷传送访问和管理 (FTAM)、虚拟终端 (VT)、作业传送和操纵 (JTM)、目录服务 (DS)、远程数据库访问 (RDA)、交易处理 (TP)、计算机图形 (CG)、银行信息交换 (BII) 等等。

(张德馨)

kaiguan dianrong luboqi

开关电容滤波器 (switched-capacitor filter)

对模拟连续信号直接进行数据采集和处理的有源滤波器。它不含 A/D 和 D/A 变换环节。开关电容滤波器虽然工作在离散域, 但是, 它仍然是有源模拟滤波器。它广泛用于音频的通信系统中, 通常做成单片集成电路, 简称 SCF。

工作原理 在 MOS 工艺中, 制造电阻要比制造电容难得多。在有源滤波器中, 主要由电阻、电容和运算放大器组成; 如果能把其中的电阻用电容加开关来代替, 则构成了新的器件即开关电容滤波器。用来代替电阻的电容和开关都用 MOS 工艺制造, 分别叫 MOS 电容和 MOS 场效应晶体管开关, 又称模拟开关。

(1) 接地开关电容等效电阻的原理如图 1 所示。图 1 中模拟开关 S 用两个 MOS 开关来实现, 电容用 MOS 电容 C。开关 S 以频率 f_c 在 U_1 、 U_2 之间切换,

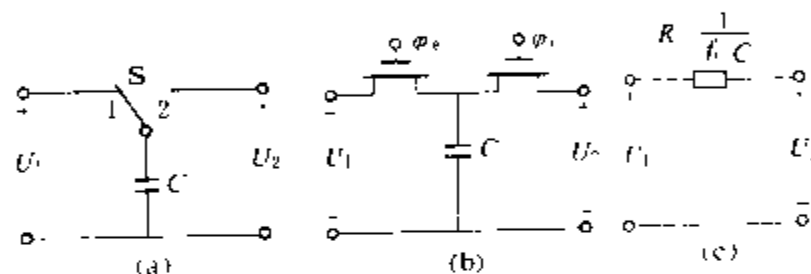


图 1 接地开关电容等效电阻原理图

(a)、(b) 简单的开关电容网络; (c) 开关电容等效电阻

f_c 为采样信号的频率, 采样周期为 τ , 即 $f_c = \frac{1}{\tau}$ 。

f_c 也是 MOS 开关栅极控制信号的频率, 两个 MOS 开

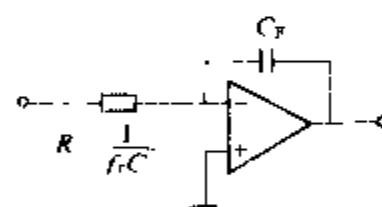


图 2 开关电容积分器

关的栅极分别接互为反相的同频率 f_c 的控制信号 ϕ_0 和 ϕ_1 ; 当 ϕ_0 为高电位, ϕ_1 为低电位时, 开关 S 接到 1, 电容 C 上的电荷为 $Q_1 = CU_1$; 当 ϕ_0 为低电位, ϕ_1 为高电位时, 开关 S 接到 2, 电容 C 上的电荷为 $Q_2 = CU_2$, 因此, 在周期 τ 期间, 由 U_1 输送给 U_2 的电荷为 $\Delta Q = Q_1 - Q_2 = C(U_1 - U_2)$, 这就相当于有一个电流 I 从 U_1 流向 U_2 , 即 $I = \frac{\Delta Q}{\tau} = \frac{C}{\tau} (U_1 - U_2)$ 。设开关频率 f_c 比 U_1 和 U_2 的最高频率高得多, 则图 1 所示的开关电容就等效为在 U_1 和 U_2 之间有一个电阻 R , 其值为 $R = \frac{U_1 - U_2}{I} = \frac{\tau}{C} = \frac{1}{f_c C}$, 如图 1(c) 所示。把这个等效电

阻接到普通的 RC 有源积分器以代替其中的电阻, 就构成一个开关电容积分器如图 2 所示。其传输函数为 $H(s) = -\frac{1}{sRC_F} = -f_c \left(\frac{C}{C_F} \right) \frac{1}{s}$, 可见, 其传输函数取

决于采样信号频率和电容比,而与电容的绝对值无关。

(2) 浮地开关电容等效电阻的原理如图 3 所示。图 3 中当 φ_0 为高电平, φ_1 为低电平时, 开关 S2 闭合开关 S1 断开, 电容 C 清零; 当 φ_0 为高电平, φ_1 为低电平时, 开关 S2 断开, 开关 S1 闭合, 电容 C 被充电到 $U_1 - U_2$ 。即在采样周期 τ 时期内, 从 U_1 送到 U_2 的电荷为 $\Delta Q = C(U_1 - U_2)$, 和接地开关电容时相同, 因此, 其等效电阻也是 $R = \frac{1}{f_c C}$ 。

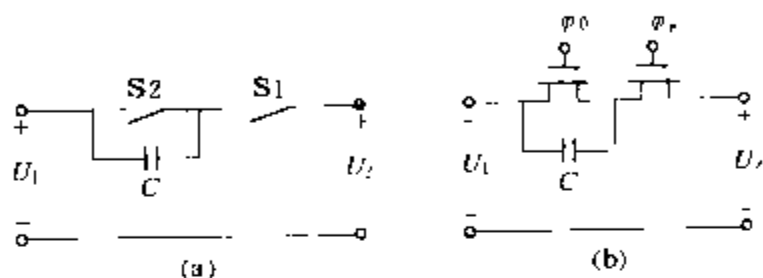


图 3 浮地开关电容网络

由上分析可知, 只要满足采样频率 f_c 比 U_1 和 U_2 的最高频率高得很多, 就可得到等效电阻 $R = \frac{1}{f_c C}$ 。若把有源 RC 滤波器中的电阻逐一用接地开关电容或浮地开关电容的等效电阻代替, 则可从有源 RC 滤波器推导出有源开关电容滤波器。

(何金茂)

kaiguan wenya dianlu

开关稳压电路 (switching voltage stabilizing circuit) 调整管以开关方式工作的稳压电路。

开关稳压电路的效率可达 60%~85%, 并且可以省去工频变压器和巨大的散热器, 和线性稳压电源相比, 除体积、重量可大大减小外, 它对电网电压大范围变化的适应能力也比线性稳压电源强得多。

开关稳压电路刚问世的初期, 其控制电路都是由分立元件组成, 由于元件多, 线路较复杂, 影响了开关稳压电路的广泛应用。到 20 世纪 70 年代后期, 随着微电子学的飞速发展, 大规模集成电路技术日臻完善, 陆续开发出开关稳压电路专用的集成控制器和单片集成开关稳压块。用它们组成的开关稳压电路成本比分立元器件低, 性能优良可靠, 使用方便, 从而获得广泛的应用。

分类 开关稳压电路种类繁多。

(1) 按激励功率开关管方式的不同, 可分为自励式、他励式和同步式三大类。

自励式电路出现最早。它的特点是电路简单, 价格低廉, 但开关频率变化大, 输出纹波较大, 不易作精确的分析。

他励式电路是由一个方波振荡器来推动功率开关

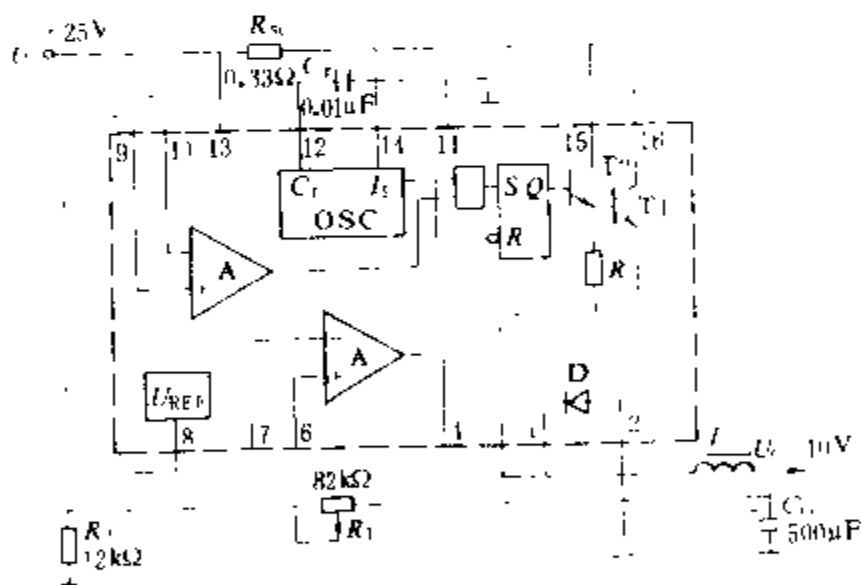
电路。其特点是开关频率恒定, 输出纹波较低, 但电路较复杂, 造价较高, 响应速度较慢。

为了吸取自励式和他励式电路的优点, 摒弃其缺点, 把非线性电路中的频率“同步”原理应用于开关稳压电路, 就发展了同步式开关稳压电路。它是用一个独立于反馈环之外的简单振荡器来同步自励功率开关电路。在瞬态情况下, 同步式电路具有自励式电路性能。在稳态情况下, 它像一个他励式开关稳压电路。为了实现同步, 必须满足同步频率和同步幅度二个条件, 即同步频率要接近于功率开关电路的固有频率, 同步幅度要足够大。如果失去同步信号, 系统就成为一个自励式电路。

(2) 按所用开关器件的不同, 可分为双极型晶体管开关稳压电路、功率 MOS 场效应管开关稳压电路和晶闸管开关稳压电路。功率 MOS 场效应管常用于开关频率 100kHz 以上的开关稳压电路中。

(3) 按控制方式的不同, 可分为脉宽调制 (PWM) 开关稳压电路、脉频调制 (PFM) 开关稳压电路和混合调制 (即脉宽和脉频同时改变) 开关稳压电路。

(4) 按功率开关电路的结构形式可分为降压型、反相型、升压型和变压器型。变压器型中按开关管输出电路的形式又可分为单端开关稳压电路、双端开关稳压电路。而双端开关稳压电路又可分为推挽型、半桥型和全桥型。单端开关稳压电路又可分为单端正励型和单端反励型等。



单片集成开关稳压块 $\mu A78S40$ 芯片

内部框图和它的应用电路

应用 用 $\mu A78S40$ 组成的降压型开关稳压电路如图所示。单片集成开关稳压块 $\mu A78S40$ 芯片内部框图如图中虚线框内所示。它的输出电压在 1.3~40 V 之间可调, 当不外接晶体管时, 其输出电流最大值可达 1.5 A。

(叶治政)

kaihuan xitong

开环系统 (open-loop system) 见控制系统。

kailu

开路 (open circuit) 支路中的电流恒为零、支路两端的电压可为任意值的一种特殊工作状态。例如,断开的导线,处于断开状态的开关,反向工作的理想二极管以及电流为零的电流源等都处于开路状态。

在开路时支路两端的电压称为开路电压。开路电压可以用高内阻(理论上应为无限大)的电压表(如晶体管电压表)来测量。

(龚绍文)

kangcixing

抗磁性 (diamagnetism) 在有外加磁场的情况下,物质获得一个对抗该外加磁场的磁矩的现象。放在外磁场中的物质,若其磁化强度 M 方向与外加磁场强度 H 方向相反,则称这种物质具有抗磁性。抗磁性是一种微弱的磁性。通常把具有抗磁性的物质称为抗磁质。由磁化率 χ_m 的定义 $M = \chi_m H$ 可知,抗磁质的磁化率 χ_m 为负的,且一般与磁场强度和温度无关。数量级为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 。

从微观角度看,物质磁性主要决定于原子中电子的运动,电子绕核作轨道运动,具有轨道磁矩,电子本身还具有自旋运动,相应地具有自旋磁矩。原子磁矩是原子中各电子轨道磁矩和自旋磁矩的矢量和。一个分子的磁矩,则是分子中各原子磁矩的矢量和。抗磁质的分子磁矩为零。

用电磁感应定律可以证明,任何物质放在外磁场中时,组成该物质的每个分子内都将感生一方向总是与外磁场方向相反的附加磁矩,这称为抗磁性效应。由于抗磁质的分子磁矩为零,因此在外磁场中,抗磁质的磁化强度方向与磁场强度方向相反,这就是抗磁性产生的微观解释。

从原子结构看,具有满电子壳层的原子、离子等组成的物质为抗磁性的,如惰性气体、 Li^+ 、 F^- 等。实际上,自然界中绝大多数物质都是抗磁性的。

应当指出,具有顺磁性、铁磁性的物质在磁场作用下也要产生抗磁性效应,只不过它们的顺磁性、铁磁性效应比抗磁性效应强,因此抗磁性效应被掩盖。

超导体是理想的抗磁体。

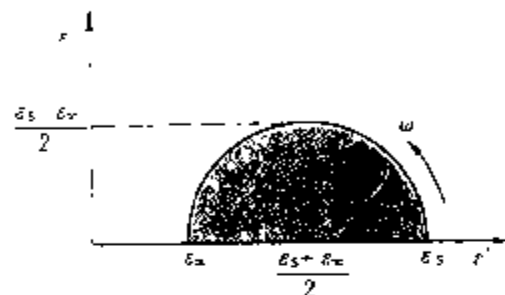
(吴百诗)

keer-keer yuantu

柯尔-柯尔圆图 (cole-cole diagram)

描述电介质复电容率实部 ϵ' 和虚部 ϵ'' 间关系的一种图形表示法。是 K. S. 柯尔 (K. S. Cole) 和 R. H. 柯尔 (R. H. Cole) 在 1941 年提出的。在电介质中极化机制具有单一松弛时间时,其复电容率的实部和虚部随频率的变化在 (ϵ', ϵ'') 组成的平面坐标系中为一个半圆,圆心在横轴上 $\epsilon' = (\epsilon_\infty + \epsilon_s) / 2$ 处,圆的半径为 $(\epsilon_s - \epsilon_\infty) / 2$, 如图所示。这个圆的方程为

$$\left(\epsilon' - \frac{\epsilon_s + \epsilon_\infty}{2} \right)^2 + \epsilon''^2 = \left(\frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{2} \right)^2$$



柯尔-柯尔圆图

圆周的顶点对应 ϵ'' 的最大值。当电介质的极化机制具有多松弛时间时, ϵ' 与 ϵ'' 在坐标系中的图形将不是一个圆心在横轴上的半圆,所以柯尔-柯尔圆图也是一种研究介质极化与损耗机理的一种工具。

(刘辅宣)

kexuejisuan

科学计算 (scientific computation) 为了解决科学和工程问题,研究数学模型和计算方法,使其能在计算机上进行运算的数值计算。数学模型通常为代数方程组、微分方程和积分方程。对于微分方程或积分方程,需先将其离散化,把它们转化为代数方程组,研究求解的计算方法,而后编制程序在计算机上进行计算。如果计算结果不符合要求,还需分析和修改数学模型及计算方法重复上述过程。

随着计算机的发展,使得解决科学技术领域提出的复杂计算日益成为可能。科学计算在当代科学技术发展中起着重要作用,它已成为和理论、实验并列的人类科学活动的第三种科学方法。现在,科学计算已发展成为包括计算数学、计算物理、计算力学和计算化学等各种计算工程学的一门交叉性学科。近年来发展起来的稀疏矩阵技术、有限元素法、样条函数、多重网络和自适应网络、蒙特卡罗法和随机选择等计算方法已被广泛用于解决科学和工程中的各种问题。

科学计算软件是为解决科学和工程问题而研制的计算机软件,多用 FORTRAN 语言编制。它按照使用范围可分为两类:①解决科学和工程中的数学问题的通用数学软件,常组织成程序库作为软件产品供用户使用;②而向特定工程计算的应用软件,例如计算机辅助飞机设计软件,电网调度软件等。

科学和工程中的大型复杂问题层出不穷,有些科

学计算问题已超过现有计算机的计算能力。研究更有效的计算方法和更高速的计算机是促进科学计算发展的两个基本环节。

(易大义)

kebiancheng kongzhizhij

可编程控制器 (programmable logic controller) 具有继电器常规控制概念的专用数字控制计算机,简称PC或PLC。PC可以执行算术运算、逻辑运算、顺序操作、定时及计数等指令,通过开关量或模拟量输入输出模块来控制生产设备或生产过程。程序设计简单、修改方便灵活、可靠性高、通用性强、可在恶劣工业环境下长期稳定工作是PC的显著特点。因此,可编程控制器已经在机械制造、石油化工、冶金、造纸、煤炭、能源、运输等行业广泛应用并迅速增长。

1969年第一台PC在美国诞生,它可以方便地实现传统的继电器控制逻辑。经过20多年,PC技术有了很大的发展。PC硬件正朝着高速度、大容量、小体积、模块化的方向前进。高速多CPU,控制点超过8000点的高档PC已经出现;温度控制、阀门控制、冗余控制、远程通信以及智能诊断等模块也已经出现。

PC通常采用梯形图、功能块、以及语句表等编程语言。国外PC的编程语言正在向制造自动化通信规约(MAP)靠拢。

PC的编程器通常分在线与离线两类。编程显示方式通常有微型简易的发光管显示、屏幕图形显示、菜单式显示以及光笔显示等方式。

(杨长生)

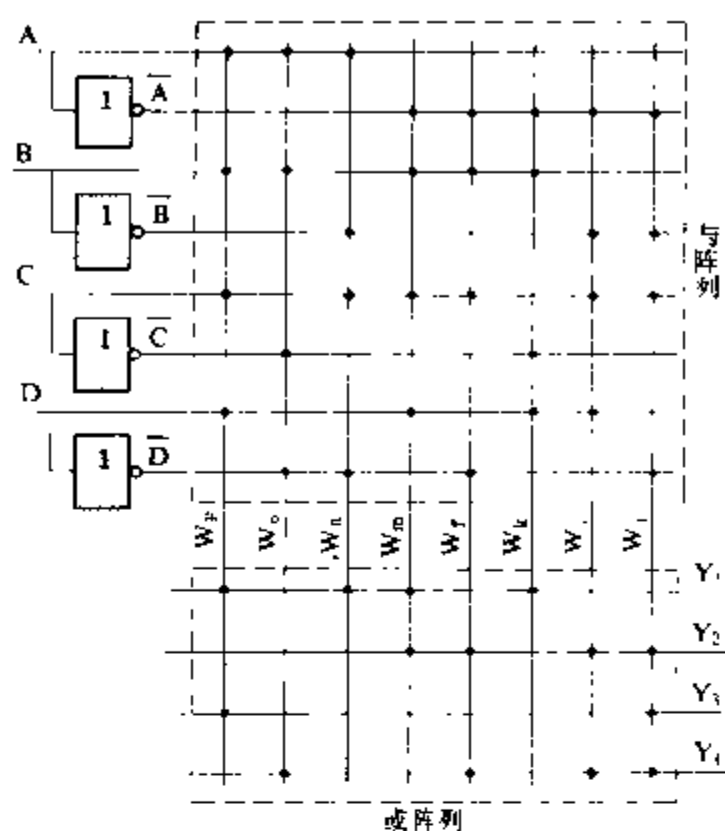
kebiancheng luoji zhenlie

可编程逻辑阵列 (programmable logic array) 一种包含可编程的“与”逻辑阵列和“或”逻辑阵列的大规模集成电路,简称PLA。主要用于产生一组多输出的逻辑函数。

结构与工作原理 PLA的结构示意图如图所示,其中A、B、C、D是四个逻辑变量输入端,Y₁~Y₄是四个逻辑函数输出端。“与”阵列可以根据要求产生8个最小项(包含A或A、B或B、C或C、D或D的乘积项)或最小项之和W₁~W₈。“或”阵列再从中取若干个进行组合(逻辑相加),便可得到所需的4个逻辑函数Y₁~Y₄。

许多工厂都生产了自己的PLA系列化产品,产品规格以(输入变量数)×(“与”阵列输出端数)×(“或”阵列输出端数)表示。据此,图中所示PLA的规格应写为4×8×4。实际的PLA的规模要比图中的

例子大得多。



PLA结构示意图

编程 PLA中的“与”阵列和“或”阵列都可以根据需要进行编程,以获得所需的逻辑函数。

编程时首先应将要求产生的逻辑函数化为最小项之和的形式。例如希望得到的逻辑函数为

$$\begin{cases} Y_1 = A \bar{B} C \bar{D} + B C D + \bar{A} B \bar{C} D \\ Y_2 = \bar{A} \bar{B} C D + \bar{A} B C D \\ Y_3 = \bar{A} \bar{B} C \bar{D} + A B C D \\ Y_4 = A B \bar{C} \bar{D} + \bar{A} \bar{B} C D + \bar{A} C \bar{D} \end{cases}$$

化成最小项之和的形式是

$$\begin{cases} Y_1 = A \bar{B} C \bar{D} + A B C D + \bar{A} B C D + \bar{A} B \bar{C} D \\ Y_2 = \bar{A} \bar{B} C D + \bar{A} B C D + \bar{A} B C D + \bar{A} B C D \\ Y_3 = \bar{A} \bar{B} C \bar{D} + A B C D \\ Y_4 = A B \bar{C} \bar{D} + \bar{A} \bar{B} C D + \bar{A} B C \bar{D} + \bar{A} \bar{B} C \bar{D} \end{cases}$$

它们共包含8个最小项: $\bar{A} \bar{B} C \bar{D}$ 、 $\bar{A} \bar{B} C D$ 、 $\bar{A} B \bar{C} D$ 、 $\bar{A} B C \bar{D}$ 、 $\bar{A} B C D$ 、 $A \bar{B} C \bar{D}$ 、 $A B \bar{C} \bar{D}$ 和 $A B C D$ 。

通过对“与”阵列编程,便可产生这8个最小项。设取“与”阵列的最右边一根输出线W₁产生 $A B C \bar{D}$ 这个最小项,则只要令位于A、B、C、D 4根信号线与W₁线交叉点处的半导体器件将交点接通即可。

然后再对“或”阵列编程。例如取“或”阵列中最上边一个输出为Y₁,则只要令Y₁线与W₁、W₃、W₄和W₈线相连即可。

(阎石)

keguancexing

可观测性 (observability)

可在有限时间

内,由输出即观测值识别出控制系统全部状态变量的属性。可观测性讨论的是状态和输出之间的关系。事实上,如果初始时刻系统的状态已被识别,在给定了控制作用后,系统各瞬时的状态就唯一地确定了。因此,对系统在有限时间内状态的识别,可以归结为对系统初始时刻状态的识别。

线性连续系统的可观测性 对于线性时变控制系统

$$\begin{cases} \dot{x} = A(t)x + B(t)u \\ y = C(t)x + D(t)u \end{cases} \quad (1)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。对初始时刻 t_0 , 若存在另一时刻 $t_a > t_0$, 根据在 $[t_0, t_a]$ 的输出 $y(t)$ 和已知的输入 $u(t)$, 可以唯一地确定系统在 t_0 时刻的初始状态, 则称系统在 $[t_0, t_a]$ 上是状态完全可观测的。

系统可观测性有如下主要性质: ①如果系统在 $[t_0, t_a]$ 上状态完全可观测, 那么对于 $t_a > t_0$, 系统在 $[t_0, t_a]$ 上也必状态完全可观测。②如果存在 $[t_0, t_a]$ 上绝对可积函数 $f(t)$ 的扰动, 可观测性不受影响。③如果 x_0 是 $[t_0, t_a]$ 上可观测的, a 为任意非零实数, 则 ax_0 也是在 $[t_0, t_a]$ 上可观测的。④如果 x_{01} 和 x_{02} 都是 $[t_0, t_a]$ 上可观测的, 则 $x_{01} + x_{02}$ 也必是 $[t_0, t_a]$ 上可观测的。⑤代数等价的线性系统具有相同的可观测性。

控制系统的可观测性完全取决于状态空间表达式中矩阵 $A(t)$ 和 $C(t)$ 的形态。因此, 可根据这两个矩阵所构成的一些数学表达式的性质判别系统的可观测性, 即所谓可观测性判据。如果线性连续时变系统在定义区间 $[t_0, t_a]$ 上满足解的存在和唯一性条件, 则其在 $[t_0, t_a]$ 上状态完全可观测的充要条件是矩阵 $M_o(t_0, t_a) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{t_0}^{t_a} \Phi^T(t, t_0) C^T(t) C(t) \Phi(t, t_0) dt$ 非奇异, 其中 $\Phi(\cdot, \cdot)$ 为状态转移矩阵, 上角标 T 为矩阵转置符。对于线性定常控制系统

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (2)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

状态完全可观测的充要条件是矩阵 $Q_o \stackrel{\text{def}}{=} [C^T; A^T C^T; \dots; (A^T)^{n-1} C^T]$ 满秩。

线性离散系统的可观测性 对于线性离散时变控制系统

$$\begin{cases} x(kT + T) = G(kT)x(kT) + H(kT)u(kT) \\ y(kT) = C(kT)x(kT) + D(kT)u(kT) \end{cases} \quad (3)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

在区间 $[kT, lT]$ 上状态完全可观测的充要条件是矩阵

$$\begin{aligned} M_o(kT, lT) \\ \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{k=k}^{l-1} \Phi^T[(k+1)T, kT] C^T(kT) \\ \times C(kT) \Phi(kT, kT) \end{aligned}$$

非奇异, 式中 Φ 为状态转移矩阵。对于线性离散定常系统

$$\begin{cases} x(kT + T) = Gx(kT) + Hu(kT) \\ y(kT) = Cx(kT) + Du(kT) \end{cases} \quad (4)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。状态完全可观测的充要条件是矩阵 $Q_o \stackrel{\text{def}}{=} [C^T; G^T C^T; \dots; (G^T)^{n-1} C^T]$ 满秩。

(顾锦汶)

kekongxing

可控性 (controllability) 控制系统的状态可由控制向量控制的属性。可控性讨论的是状态和控制作用之间的关系, 它研究给定任意两个不同的状态通过幅值不受限制的控制作用, 可否在有限的时间内把系统由一个状态转移到另一个状态。

线性连续系统的可控性 对于线性时变控制系统

$$\begin{cases} \dot{x} = A(t)x + B(t)u \\ y = C(t)x + D(t)u \end{cases} \quad (1)$$

对初始时刻 t_0 , 存在另一时刻 $t_a > t_0$, 对于 t_0 时刻的任意初值 $x(t_0) = x_0$, 如果可以找到容许控制 u , 使 $x(t_a) = x_a$, 则称系统在 $[t_0, t_a]$ 上是状态完全可控的。式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

控制系统可控性有如下主要性质: ①如果系统在 $[t_0, t_a]$ 上状态完全可控, 那么对 $t_a > t_0$, 系统在 $[t_0, t_a]$ 上也必状态完全可控。②如果存在不依赖于控制作用 u 的扰动 $f(t)$, 只要 $f(t)$ 是绝对可积函数, 系统的可控性不受影响。③如果 x_0 是 $[t_0, t_a]$ 上的可控状态, a 为任意非零实数, 则 ax_0 也是 $[t_0, t_a]$ 上的可控状态。④如果 x_{01} 和 x_{02} 都是 $[t_0, t_a]$ 上的可控状态, 则 $x_{01} + x_{02}$ 也必是 $[t_0, t_a]$ 上的可控状态。⑤代数等价的线性系统具有相同的可控性。

控制系统的可控性完全取决于状态空间表达式中矩阵 $A(t)$ 和 $B(t)$ 的形态。因此可根据由这两个矩阵所构成的一些数学表达式的性质判别系统的可控性, 即所谓可控性判据。如果线性连续时变系统在定义区间 $[t_0, t_a]$ 上满足解的存在和唯一性条件, 则其在 $[t_0, t_a]$ 上状态完全可控的充要条件是矩阵 $W_c(t_0, t_a) \stackrel{\text{def}}{=} \int_{t_0}^{t_a} \Phi(t_0, t) B(t) B^T(t) \Phi^T(t_0, t) dt$ 为非奇异, 式中 Φ 为

状态转移矩阵, 上角标 T 为矩阵转置符。

对于线性定常控制系统

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (2)$$

系统状态完全可控的充分必要条件是矩阵 $Q \stackrel{\text{def}}{=} [B \mid AB \mid \cdots \mid A^{n-1}B]$ 满秩。式中 x 为 n 维状态向量, u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

线性离散系统的可控性 对于线性离散时变控制系统

$$\begin{cases} x(kT + T) = G(kT)x(kT) + H(kT)u(kT) \\ y(kT) = C(kT)x(kT) + D(kT)u(kT) \end{cases} \quad (3)$$

在区间 $[kT, lT]$ 上状态完全可控的充要条件是矩阵

$W_c(kT, lT) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{i=k}^{l-1} \Phi[kT, (i+1)T] \times H(iT) \times H^T(iT) \Phi^T[kT, (i+1)T]$ 为非奇异。式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

对于线性离散定常控制系统

$$\begin{cases} x(kT + T) = Gx(kT) + Hu(kT) \\ y(kT) = Cx(kT) + Du(kT) \end{cases} \quad (4)$$

系统状态完全可控的充分必要条件是矩阵 $Q_c \stackrel{\text{def}}{=} [H \mid GH \mid \cdots \mid G^{n-1}H]$ 满秩。

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

(顾锦汶)

Kelasuofusiji tangfa

克拉索夫斯基方法 (Krasovskii method)

以俄国科学家克拉索夫斯基命名的一种构造李雅普诺夫函数, 判定非线性控制系统稳定性的方法。

考虑非线性系统 $\dot{x} = f(x)$; $f(0) = 0$, 设 f 具有连续一阶偏导数。这里, x 是 n 维状态向量, f 也是 n 维向量。令 $J(x)$ 为 f 的雅可比矩阵

$$J(x) = \frac{\partial f(x)}{\partial x} = \begin{bmatrix} \partial f_1 / \partial x_1 & \partial f_1 / \partial x_2 & \cdots & \partial f_1 / \partial x_n \\ \partial f_2 / \partial x_1 & \partial f_2 / \partial x_2 & \cdots & \partial f_2 / \partial x_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \partial f_n / \partial x_1 & \partial f_n / \partial x_2 & \cdots & \partial f_n / \partial x_n \end{bmatrix}$$

若存在一正定对称常数矩阵 P , 使得 $F(x) = J^T(x)P + PJ(x)$ 对于所有 x 为负定, 则非线性系统是在原点渐近稳定的, 此时李雅普诺夫函数为 $V(x) = f^T P f$ 。

例如要判定下述系统的稳定性:

$$\dot{x}_1 = -3x_1 + x_2; \quad \dot{x}_2 = x_1 - x_2 - x_2^3,$$

则应用克拉索夫斯基方法, 取 $P = I$, 得

$$\begin{aligned} F(x) &= \begin{bmatrix} -3 & 1 \\ 1 & -1 - 3x_2^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3 & 1 \\ 1 & -1 - 3x_2^2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -6 & 2 \\ 2 & -2 - 6x_2^2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$F(x)$ 是负定的。又有 $V(x)$ 是正定的, 所以原点是渐近稳定的。此外, 当 $\|x\| \rightarrow \infty$ 时, $V(x) = f^T P f \rightarrow \infty$, 于是, 平衡状态 $x = 0$ 是在大范围内渐近稳定的。

(邱家驹)

kongqi

空气 (air) 构成地球周围大气的气体。无色、无味, 主要成分是氮和氧, 还有极少量的氦、氩、氟、氖、氙等惰性元素和水蒸气、二氧化碳、微生物、杂质等。大气是使用最广泛的气体绝缘介质。例如架空输电线的相间绝缘和相对地绝缘以及敞开式户外变电站中高压设备间的绝缘都是以大气作为绝缘介质的。影响空气绝缘强度的因素很多, 主要有电场均匀度、空气的密度与湿度、电压的波形与极性等。在标准大气条件 ($p = 0.1 \text{ MPa}$, $T = 293 \text{ K}$) 下, 1 cm 的均匀场空气间隙的击穿电压约为 30 kV (峰值), 但间隙距离增大时击穿电压并不成正比地增加。空气密度低于标准大气条件时, 击穿电压下降, 所以对用于高海拔地区的电气设备, 要加大绝缘距离。电场不对称时, 空气的击穿具有极性效应, 即当曲率半径较小的电极上施加正极性电压时, 击穿电压比负极性电压时要低 (但负极性电晕起始电压比正极性时略低)。湿度对极不均匀场空气间隙的击穿也有影响, 绝对湿度增大时击穿电压略有提高。对于极不均匀场间隙, 雷电冲击波作用下的击穿电压高于稳态击穿电压; 但对于长间隙, 正操作冲击击穿电压常低于稳态击穿电压。因此对于超高压和特高压电气设备, 要进行操作冲击耐压试验, 而不能用 1 min 工频耐压试验代替。

(邱毓昌)

kongqi jianxi jichuan dianya

空气间隙击穿电压 (breakdown voltage of air gaps)

以空气作为电介质的电极之间的间隙发生击穿时的电压。由于气体放电理论还不完善, 空气间隙的击穿电压无法精确计算, 实用上大多是通过试验来确定或用经验公式近似地估算。空气间隙的击穿电压与电场分布、间隙距离、电压种类及空气状态等有关。

击穿电压的概率分布 空气间隙的击穿电压 U 是随机变量, 其分布规律可用正态概率分布函数描述, 即

$$F(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^U \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{U - U_{50}}{\sigma}\right)^2\right] dU$$

式中 U_{50} 为 50% 击穿电压 (直流及工频电压下有时称为平均击穿电压); σ 为击穿电压的标准差。

极性效应 对于非对称分布的电场, 在直流、操作

冲击或雷电冲击电压下,当最大场强所在电极为正极性(此电极的电位比其他电极的电位高时为正极性,反之为负极性)时空气间隙的击穿电压与该电极为负极性时的不同。这种效应称为极性效应。

均匀电场中的击穿电压 对均匀电场,只有间隙距离不太大时的试验数据。试验结果表明:各种电压(直流、工频、操作冲击、雷电冲击电压)下的50%击穿电压实际上都相同,击穿电压的分散性较小。计算 U_{50} (峰值)的经验公式为 $U_{50}=24.22\delta d+6.08\sqrt{\delta d}$,kV。式中 d 为间隙距离,cm; δ 为空气相对密度; $0.01\text{ cm}\leq d\leq 10\text{ cm}$ 。由此公式可知,当 $\delta=1$ 、 $d>1\text{ cm}$ 时,均匀电场中空气的电气强度大约为30 kV/cm。

稍不均匀电场中的击穿电压 在稍不均匀电场中,直到击穿为止不发生电晕时,各种电压下的50%击穿电压实际上都相同,击穿电压的分散性也不大。当电场分布不对称时,具有不很明显的极性效应,负极性时空气间隙的击穿电压稍低于正极性击穿电压。稍不均匀电场中,空气间隙的击穿电压与电场的不均匀程度有关,电场分布越是趋于均匀,同样间隙距离时的击穿电压就越高,其极限就是均匀电场中的击穿电压。可近似认为:稍不均匀电场中的最大场强达到30kV/cm时,间隙将击穿。此时,击穿电压的估算公式为 $U_{50}=30d/f$,kV。式中 d 为间隙距离,cm; f 为电场不均匀系数,是最大场强与平均场强之比。

极不均匀电场中的击穿电压 与均匀及稍不均匀电场不同,在极不均匀电场中,各种电压下空气间隙击穿电压的差别比较明显,分散性也较大。当电场分布不对称时,极性效应显著,正极性时空气间隙的击穿电压低于负极性击穿电压。通常选择棒-板电极和棒-棒电极作为典型电极,它们分别代表了不对称分布和对称分布极不均匀电场的极端情况。在没有合适的试验数据可供使用时,可参照棒-板或棒-棒间隙的试验数据来近似估计极不均电场空气间隙的击穿电压。同样间隙距离时,棒电极

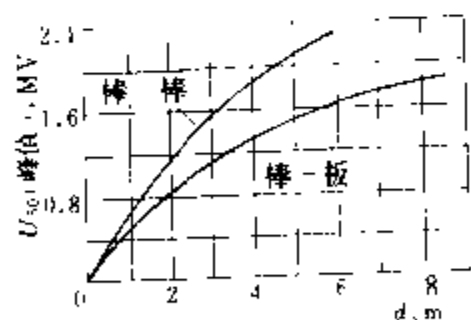


图1 空气间隙的工频击穿电压 下的击穿电压:试验表明,在间隙距离小于3 m时,击穿电压与间隙距离呈线性关系。对棒-板电极,棒为正极性时,平均击穿场强为4.5 kV/cm;棒为负极性时约为10 kV/cm。对棒-棒电极,平均击穿场强约为4.8~5.0 kV/cm。

(2) 工频电压下的击穿电压:棒-板电极间施加工频电压时,击穿总是在棒的极性为正、电压达到峰值时发生。图1所示为空气间隙的工频击穿电压 U_{50} 与间隙距离 d 的关系。随着 d 的增加, U_{50} 的增加逐渐趋于缓慢,即具有饱和现象。击穿电压的标准差 σ 约为 U_{50} 的3%。

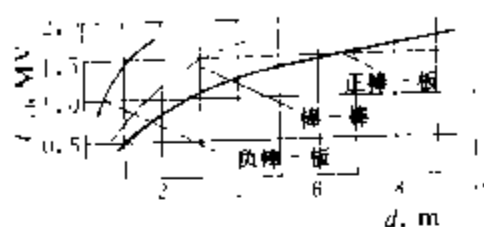


图2 空气间隙的操作冲击(500/50000 μ s)击穿电压

(3) 操作冲击电压下的击穿电压:图2所示为空气间隙在操作冲击

电压下的击穿电压 U_{50} 与 d 的关系。 U_{50} 与 d 之间有明显的饱和现象。操作冲击电压的波前时间 T_a 对击穿电压也有影响,随 T_a 的

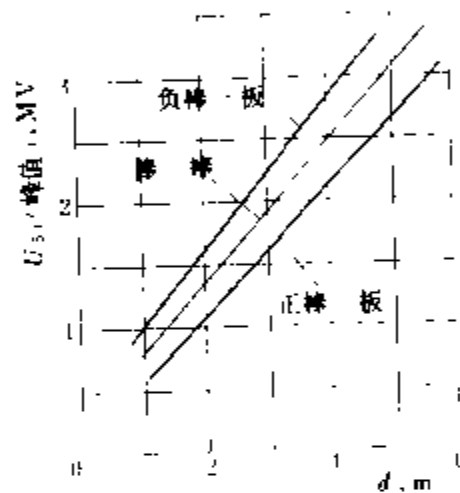


图3 空气间隙的雷电冲击击穿电压

增加, U_{50} 先是下降,然后上升,曲线呈U形, U_{50} 有极小值。 d 越大,使 U_{50} 出现极小值的 T_a 也越大。击穿电压的标准差 σ 约为 U_{50} 的5%~8%。

(4) 雷电冲击电压下的击穿电压:图3所示为空气间隙在雷电冲击电压下的击穿电压 U_{50} 与 d 的关系。 U_{50} 与 d 呈线性关系。击穿电压的标准差 σ 约为 U_{50} 的3%。

参考书目

朱德恒,严璋主编.高电压绝缘.北京:清华大学出版社,1992

(朱德恒)

kongzhiqu

控制器 (control unit)

计算机内根据指令码有序地发出微操作控制信号的部件。计算机硬件系统执行一条指令所经历的阶段有:①取指令。根据指令计数器形成的指令地址从主存储器读取指令并存入指令寄存器,指令计数器递增,形成后继指令地址。②解释指令。对取得的指令进行译码,确定操作类型和操作数地址形成方式。③执行指令。根据指令操作码的规定对操作数作相应的操作,并将结果存入指定的部件。在上述各阶段中,控制器根据处理器状态信息,在一定的时刻向运算器、存储器等有关部件发出一系列微操作控制信号(如运算器的“加”或“减”、存储器的

“读”或“写”，寄存器的“清零”、“置数”、“移位”等），以实现指令功能。

基本结构 控制器通常由下列部件组成（图1）：
①指令计数器，又称程序计数器：存放指令的地址；
②指令寄存器：存放当前执行的指令码；③译码电路：解释指令操作类型和操作数寻址方式；④定时信号形成电路：产生处理器所需的定时信号；⑤状态寄存器：存放处理器当前状态信息（如上次运算结果是否为零，是否发生溢出等）；⑥地址形成电路：根据寻址方式形成操作数地址或后继指令地址；⑦控制信号形成电路：根据指令操作码、处理器状态和定时信号产生一组微操作控制信号，分别送到运算器、存储器、寄存器等部件。

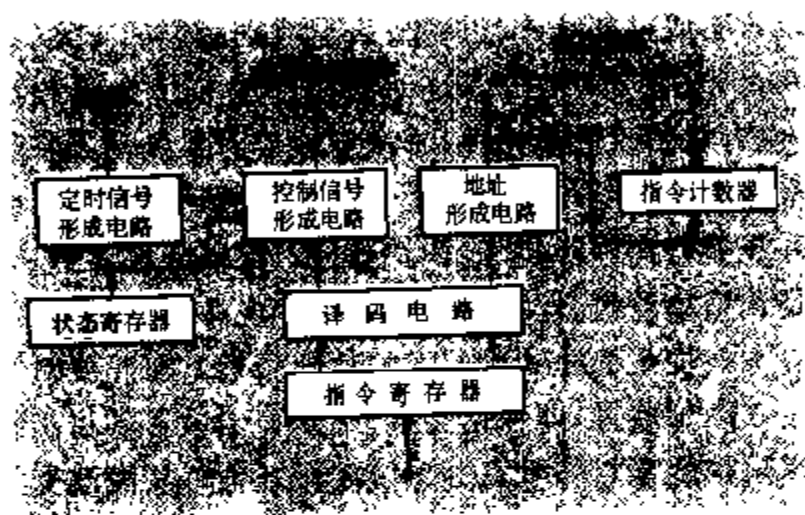


图1 控制器基本结构

同步控制和异步控制 为使控制器能严格按照规定的顺序发出控制信号，必须提供定时信号。定时方法有同步控制和异步控制两种：①同步控制。定时信号（又称节拍信号）周期固定，执行每条指令所需的节拍数统一按最复杂指令需要的节拍数确定。同步控制的逻辑简单，但对多数指令存在多余的节拍，因此，指令的执行速度较慢。②异步控制。没有周期固定的节拍信号，每个操作终结时有反馈信号送给控制器，使其发出下一个或下一批控制信号，一个操作结束后立即开始下一个操作。这种应答方式要传递和控制大量反馈信息，因此控制逻辑比较复杂，但每条指令没有多余的节拍，指令的执行速度较快。

在实际应用中，常常采取折衷方式。即把每条指令的执行过程分成几个基本周期（又称机器周期），每个基本周期的节拍数固定，但每条指令经历的基本周期数不固定，根据指令功能而定。

硬连逻辑控制器和微程序控制器 根据微操作控制信号形成方式的不同，分硬连逻辑控制器和微程序控制器两种。①硬连逻辑控制器。每个控制信号都是指令操作码、处理器状态、定时信号的逻辑函数，经优化后形成最简逻辑式，用一组逻辑门实现。将处理器所有控制信号的逻辑门集合在一起，就构成控制信号形成

电路。硬连逻辑内部结构不规整，指令功能的扩充和修改困难，且控制信号形成时间是离散的，决定于门的级数和每级门的延时。②微程序控制器。使用一个高速存储器作为控制存储器，它的每一个字对应为一条微指令，包含有微操作控制段和微地址段两部分，前者规定需执行的微操作控制信号，后者规定下一条微指令地址。每条微指令执行一个或几个微操作。机器指令的微操作顺序由微指令排序决定。每条机器指令对应有一段微程序，该微程序在控制存储器中的位置与机器指令操作码存在确定的对应关系。微程序控制器中每个微操作控制信号的形成时间是统一的，决定于控制存储器的读出周期。

串行控制和流水线控制 计算机运行一个程序是逐条执行机器指令的过程。控制方法有两种：①串行控制。只有当前指令执行完后才取下一条指令，指令与指令之间在执行时间上是串行的。②流水线控制。把整个指令的执行过程在硬件上分段，使相邻指令依次在各段分解（如图2），有效地提高了指令执行的速度。由于指令相关性和条件转移指令的存在，实现流

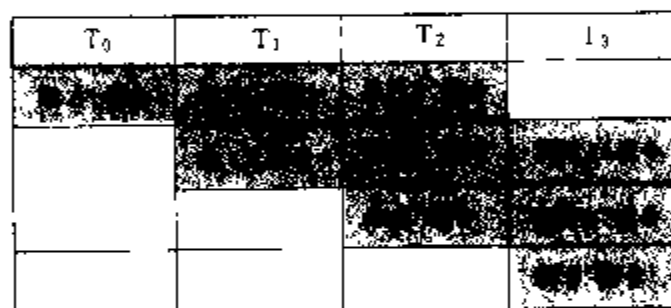


图2 流水线控制示意图

水线控制的硬件逻辑比串行控制复杂得多。过去曾是大型机和巨型机所采用的结构，随着超大规模集成电路技术的发展，现代高档微机中的处理机也已普遍采用。

（陶欣）

kongzhi xitong

控制系统 (control system) 由被控对象和控制装置(控制器)构成的，能够对被控对象的工作状态进行控制的总体。例如，由同步发电机和励磁控制装置构成的，能够控制同步发电机的励磁、调节电压的同步发电机励磁控制系统。代替或部分代替人的直接参与，采用自动装置实现控制的控制系统，是自动控制系统。许多控制系统是物理系统，但不限于物理系统。系统是一个很广泛的概念，可以是物理的，也可以是生物的，乃至经济的、社会的。例如，人体就是一个极其复杂的反馈控制系统。

以下一些技术内容与控制系统密切相关。

输入量(输入变量、输入信号、参考输入、激励)

作用于一个元件、装置或系统输入端的量。对于物理系统，它是物理量，可以是电量，也可以是非电量。一般是时间的函数。

输出量 (输出变量、输出信号、被控输出、响应) 被控元件、装置或系统输出端的量。对于物理系统，它是物理量，可以是电量，也可以是非电量。它是系统初始状态和输入量的函数。

被控制量 被控对象被要求控制的量。对于物理系统，它是物理量。通常，它是控制系统输出量之中的一个 (或一部分)，是被控对象工作状态的重要变量。

控制量 控制装置的输出量，它通过执行机构改变输入于被控对象的物料或能量或信号，从而对被控对象进行控制。

干扰 (扰动) 引起被控制量变化的除控制量而外的所有变量，以及影响各元、部件输出量变化的因素。干扰产生在系统内部称为内扰，干扰产生在系统外部则称为外扰。

反馈 将输出信号送回到输入端，以增强或减弱输入信号的效应。使输入信号增强者称为正反馈；使输入信号减弱者称为负反馈。反馈信号与输出量成比例者称为硬反馈或刚性反馈；反馈信号与输出量关于时间的导数成比例者称为软反馈或柔性反馈。

反馈控制 在自动控制系统中，将被控对象的输出量经反馈通路送回到输入端，与给定的参考输入比较，形成偏差信号。偏差信号通过控制元件的作用控制输出量，使输出量与参考输入的偏差保持在容许范围以内。

反馈控制系统 实行反馈控制的系统。

自动调节系统 能使被调对象的被调量维持在规定值或按一定规律变化的反馈控制系统。例如，压力自动调节系统、电压自动调节系统，等等。

闭环控制系统 系统输出信号对控制作用能有直接影响的系统，也就是反馈控制系统，如图 1 所示。

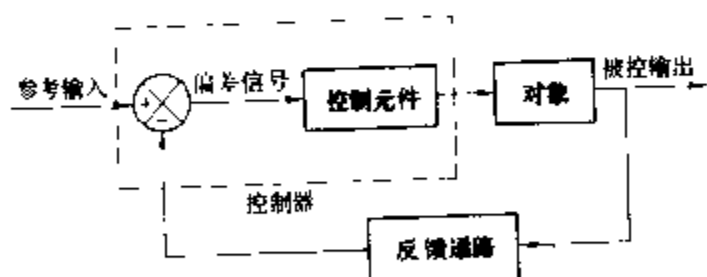


图 1 闭环控制系统

开环控制系统 系统的输出量对系统的控制作用没有影响的系统。开环系统不是反馈控制系统。如图 2 所示。

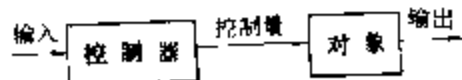


图 2 开环控制系统

(徐瑞德)

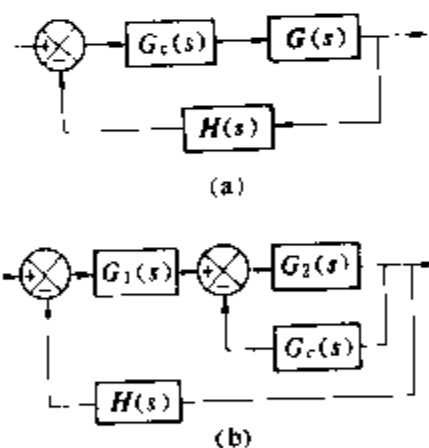
kongzhi xitong sheji yu buchang

控制系统设计与补偿 (design and compensation of control system)

自动控制系统设计过程中，对系统进行调整，调整有关参数或加入辅助装置，使系统满足所要求的性能指标。控制系统的性能指标可以用时域的特征量 (如上升时间、最大超调量和调整时间等) 给出，也可以用频域的特征量 (如相位裕量、增益裕量或谐振峰值和带宽等) 给出。这时，可相应采用根轨迹法或频率响应法进行系统设计。这种设计方法是一种试探法，通常只适用于单输入—单输出线性定常控制系统的设计。

用试探法设计控制系统时，首先考虑一种方案，检查它是否满足全部性能指标要求。如果不能满足则需修改方案或对系统进行调整，直至找到满意的方案，或者在给定的指标无法满足或所设计的系统造价很高时，也可以修改性能指标。系统中被控对象的动态特性常常是固定不能改变的，为了使系统满足性能指标而对系统进行调整时，只能调整被控对象以外的参数，首先是调整增益值。但在大多数实际情况中，仅仅调整增益并不能使系统达到所要求的性能指标，因而要对系统引入附加装置，即补偿装置。引入补偿装置的目的在于用附加的零点和极点对系统实行补偿，从而改变系统的根轨迹或频率特性曲线，使系统的性能指标满足要求。在有些文献中，这类问题称为系统的综合。

一般，有串联补偿和反馈补偿。串联补偿如图 (a) 所示，补偿装置 [传通函数为 $G_c(s)$] 与前向通路



传递函数 $G(s)$ 串联连接。反馈补偿如图 (b) 所示，它从某处引出反馈信号，构成内反馈回路，在内反馈回路中设置补偿装置 $G_c(s)$ 。反馈补偿也称为并联补偿。

广泛采用的串联补偿装置，有超前补偿、滞后补偿和滞后—超前补偿，它们可以是电气的、机械的、气动的、液压的，或者是它们的混合形式。通常多采用电气补偿装置，因为其简单、精度和可靠性高、容易调整。

控制系统的设计除了补偿以外，还包括许多实际问题，诸如方案和元部件的选择、可靠性、经济性、安装和调整等问题。

(钱源平)

控制系统稳定性 (control system stability)

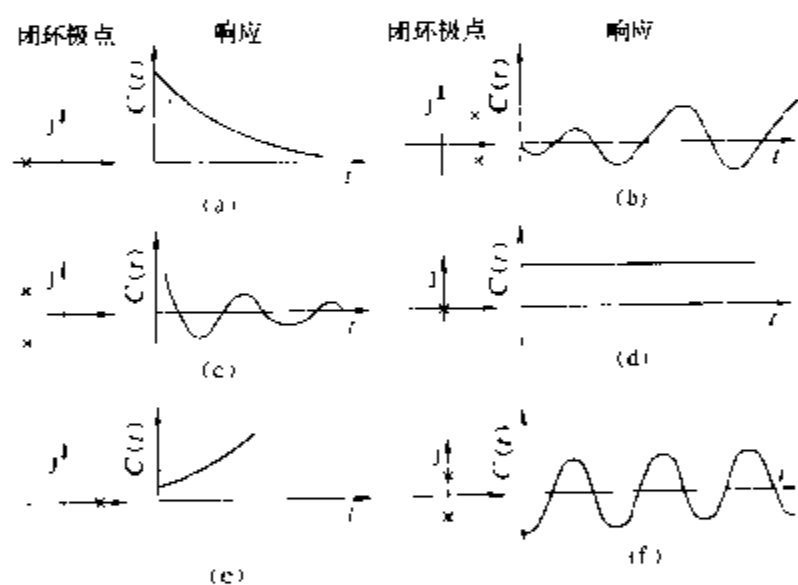
控制系统受到扰动后, 其运动能保持在有界的区域内或回到原平衡状态的性能。

如果任何有界的输入使线性定常控制系统产生有界的输出, 则称系统是稳定的。所谓输入(输出)有界, 是指在任何时刻输入(输出)的大小都小于某一有限值。

稳定的线性定常系统, 在一定的输入信号作用下有确定的输出, 在输入信号改变时输出能够达到另外的确定状态。受到扰动量的作用后, 输出量最终能返回到平衡状态。

如果线性定常控制系统受到扰动量作用后, 输出量无限制地偏离其平衡状态, 则系统是不稳定的。实际上, 物理系统的输出量只能增加到一定的量值, 此后或者受到限制, 或者使系统遭到破坏, 也可能当输出量超过一定数值后, 系统变成非线性的, 那时线性系统的表述就不再适用。

线性闭环控制系统的稳定性, 决定于复数 s 平面上闭环极点的位置, 图示闭环极点的六种不同情况:



系统的闭环极点及响应

- (a) 负实数, 响应按指数规律衰减, 稳定。
- (b) 一对实部为负的共轭复数, 响应为衰减振荡, 稳定。
- (c) 正实数, 响应按指数规律增长, 不稳定。
- (d) 一对实部为正的共轭复数, 响应为增幅振荡, 不稳定。
- (e) 零, 响应为一恒定值。
- (f) 一对符号相反的纯虚数, 响应为等幅振荡。

系统的闭环极点只要有一个或一对位于右半 s 平面内, 则随着时间的增加, 动态响应是单调上升过程, 或者是振幅逐渐增大的振荡过程, 系统是不稳定的。如果有闭环极点在复平面的原点或 $j\omega$ 轴上, 则响应为恒定值或等幅振荡, 实际上也是不能工作的。

线性定常控制系统稳定的充分必要条件是: 它的全部闭环极点(亦即微分方程的特征方程的全部根)都是负实数或实部为负的复数, 亦即, 全部闭环极点都位于复数平面的左半平面。

线性系统是否稳定, 是系统本身的一种属性, 与系统的输入量无关。

根据稳定的充分必要条件来判定线性定常控制系统的稳定性, 需要求解闭环系统特征方程式。对于高阶系统来说, 求解是相当困难的, 因而, 开发了多种不求解特征方程就能判定线性定常控制系统是否稳定的间接方法。应用得多的有劳思—赫尔维茨稳定判据和奈奎斯特稳定判据。

(钱源平)

控制作用 (control action)

自动控制器使被控对象的输出实际值与要求值之间的误差降至零或微小值的控制信号的作用。

图 1 为控制系统框图。自动控制器由误差检测器和控制作用发生器组成。传递函数为 $H(s)$ 的反馈通路将输出量 $C(s)$ 变换成适宜于与参考输入信号 $R(s)$ 比较的量, 经比较后形成作用误差 $E(s)$, 然后经控制作用发生器形成控制作用 $M(s)$, 去作用于被控对象。图中还示出了干扰(扰动)变量 $N(s)$, 它经由传递函数为 $G_3(s)$ 的环节进入系统。

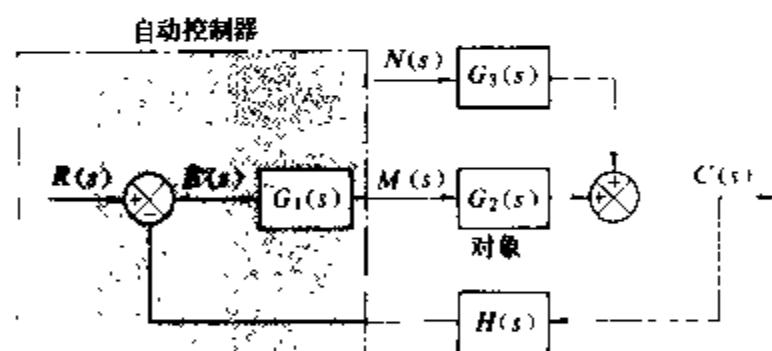


图 1 控制系统框图

控制作用可分为如下几种类型: 两位控制, 比例控制, 积分控制, 比例—积分控制, 比例—微分控制, 比例—积分—微分控制等。

两位控制 也称为双位控制或继电器型控制, 其输出只有简单的两个固定位置, 例如水银触点式温度计借助其通或断可以构成温度两位控制等等。

比例控制 按比例规律动作的控制, 可简称 P 控制。其输出 $m(t)$ 与误差信号 $e(t)$ 之间的关系为

$$m(t) = K_P e(t)$$

式中 K_P 为比例系数或增益, 亦即放大倍数。比例控制器的传递函数为

$$G_1(s) = M(s)/E(s) = K_P$$

其框图如图 2 所示。比例控制器实质上是具有可调增益的放大器, 它能减小偏差, 但不能完全消除偏差。

积分控制 积分控制器的关系式为

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

式中 K_i 是一个可调的参数。积分控制可简称为 I 控制, 积分控制器的传递函数为

$$G_1(s) = M(s)/E(s) = K_i/s$$

其框图如图 3 所示。

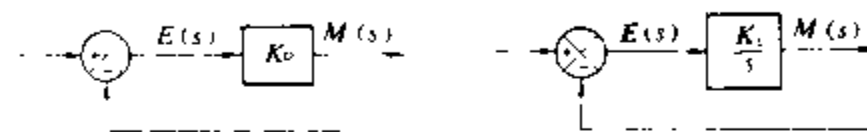


图 2 比例控制器框图

图 3 积分控制器框图

比例—积分控制 其控制作用为

$$m(t) = K_P e(t) + \frac{K_P}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

传递函数为

$$G_1(s) = M(s)/E(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

式中 K_P 为比例系数或增益, T_i 为积分时间常数, 二者都是可调的。比例—积分控制可简称 PI 控制, 由于有比例和积分控制作用, 因而能最终消除偏差。只要有偏差存在, 控制器就要使执行机构动作, 直到完全消除偏差为止。见图 4。

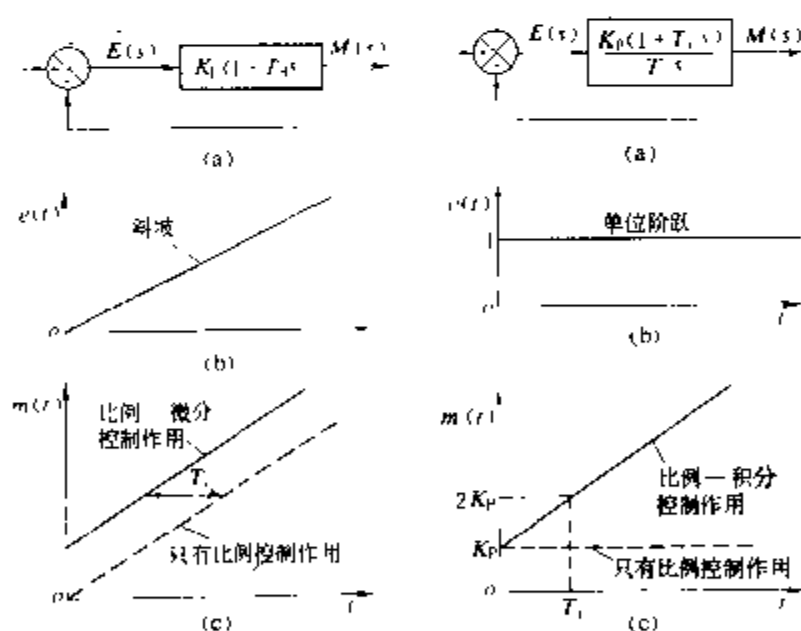


图 4 比例—积分控制器

(a) 框图; (b) 输入;

(c) 输出

比例—微分控制 其控制作用为

$$m(t) = K_P e(t) + K_P T_d \frac{de(t)}{dt}$$

传递函数为

$$G_1(s) = M(s)/E(s) = K_P (1 + T_d s)$$

式中 K_P 为比例系数或增益, T_d 为微分时间常数, 二者都是可调的。比例—微分控制可简称 PD 控制 (图 5)。微分控制作用在误差信号尚未变得太大之前就产生一个有效的修正, 有助于提高系统的性能。微分控制作用只是在暂态过程中才是有效的, 它不单独使用。

比例—积分—微分控制 其控制作用为

$$m(t) = K_P e(t) + K_P T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_P}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

传递函数为

$$G_1(s) = M(s)/E(s) = K_P \left(1 + T_d s + \frac{1}{T_i s} \right)$$

式中 K_P 、 T_d 和 T_i 的意义与前述相同, 三者都是可调的。

这种控制如能适当组合, 可以兼有三种控制作用的优点。这种控制可简称 PID 控制 (图 6)。

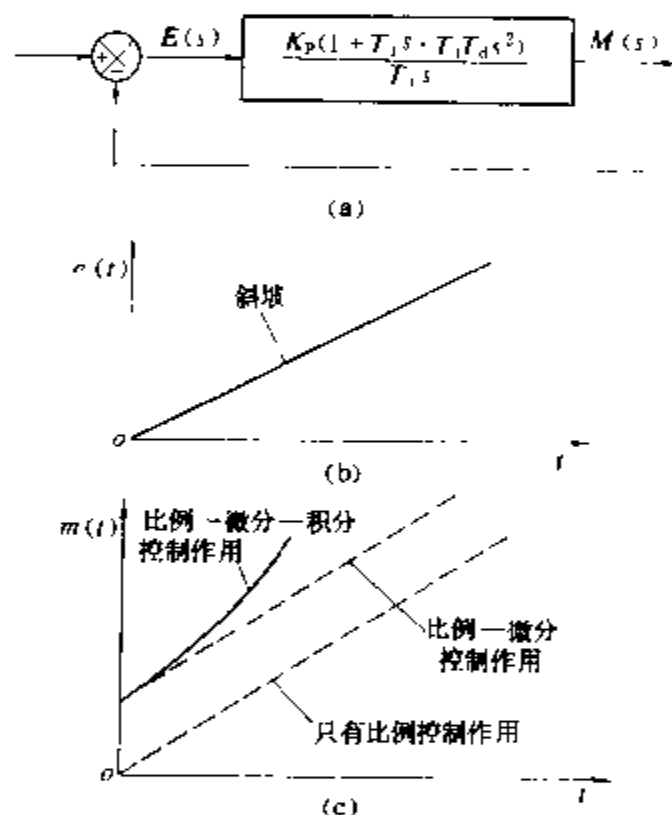


图 6 比例—积分—微分控制器

(a) 框图; (b) 输入; (c) 输出

(徐瑞德)

kulun

库仑 (coulomb) 国际单位制 (SI) 中电荷、电通量等量的单位。库仑简称库, 符号是 C。导线中流过 1A 恒定电流时, 1s 内穿过导线任何截面的电荷量定义为 1C。

(肖达川)

kulundinglü

库仑定律 (coulomb's law) 描述两个静止点电荷之间电场力定量关系的基本定律。1785 年由法

国物理学家 C. A. 库仑 (C. A. de Coulomb) 通过实验总结所提出。库仑定律的内容是：在真空中，两个静止的点电荷 q_1 和 q_2 之间的静电力 F ，其大小与两个电荷所带的电量成正比，与电荷间的距离 r 的平方成反比，作用力的方向沿两点电荷的连线方向，同性相斥，异性相吸。用 r^0 表示单位矢量，库仑定律的数学表达式为

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} r^0$$

力的单位是牛顿 (N)，电荷的单位是库仑 (C)， ϵ_0 是真空电容率，其值为 $8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ 。点电荷放在空气中时，其相互作用的静电力和在真空中的静电力相差极小，放在工程上库仑定律对放置于空气中的点电荷亦成立。空气的电容率近似等于 ϵ_0 。这里所说的点电荷，实际上是指电荷分布在一个很小的区域内，当其线度远较电荷之间的距离为小时，把电荷近似地看作为集中在一个可不计体积的物理无限小的点上。库仑定律明确地给出：静电力对距离 r 的依赖关系是平方反比律。虽然原始实验的准确度只有百分之几，但经过现代更精密的实验证实，静电力如按 $1/r^{2+\alpha}$ 变化， α 的极限值的数量级为 10^{-16} ，从而揭示了平方反比律的正确性。根据库仑定律经过数学运算和物理推理，可以导出高斯通量定理和麦克斯韦方程组的有关方程。因而库仑定律是宏观电磁场理论的一个重要的实验基础。

(方正翔)

kuaisu fuliye bianhuan

快速傅里叶变换 (fast fourier transform, FFT) 一种计算有限离散傅里叶变换的快速算法。是 1965 年由 J. W. 库利 (J. W. Cooley) 和 T. W. 图基 (T. W. Tukey) 提出的。设 $a = [a_0, a_1, \dots, a_{N-1}]^T$ 是 N 维列向量，则

$$F(a) = Aa$$

称为 a 的一维离散傅里叶变换。其中 A 为 $N \times N$ 矩阵，元素 A_{ij} 为 ω^{ij} ， $0 \leq i, j < N$ 。 ω 是 N 次主单位极，即满足条件：① $\omega^N = 1$ ；② $\sum_{j=0}^{N-1} \omega^{jp} = 0$ 对 $1 \leq p < N$ 成立。直接计算 $F(a)$ 时，大约需要 N^2 次计算，FFT 利用 ω 的性质进行代数变换，可把运算次数减少到大约为 $N \log_2 N$ 。以 $N = 2^n$ 为例，记 $X = F(a)$ ，则有

$$X_j = \sum_{K=0}^{2^n-1} a_K \omega^{jK} = \sum_{K=0}^{2^{n-1}-1} a_{2K} (\omega^2)^{Kj} + \omega^j \sum_{K=0}^{2^{n-1}-1} a_{2K+1} (\omega^2)^{Kj} \\ = Y_j + \omega^j Z_j \quad (j=0, 1, \dots, 2^{n-1}-1)$$

由于 $\omega^N = 1$ 及 $\omega^{N/2} = -1$ ，推知

$$X_{j+N/2} = Y_j - \omega^j Z_j \quad (j=0, 1, \dots, 2^{n-1}-1)$$

因此，计算出两个 2^{n-1} 维向量 Y 和 Z ，再用 2^n 次乘法和加减法即可算出 2^n 维向量 X 。从而可得运算次数的

函数 $T(2^n) = 2T(2^{n-1}) + 2^n = 2^n \cdot n = N \log_2 N$ 。 N 不是 2^n 时相仿。

FFT 算法比传统直接计算提高效率 $N/\log_2 N$ 倍。 N 越大，效果越显著。例如用计算机对卫星接影的照片进行处理，对 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 的照片间隔 $1 \mu\text{m}$ 的点进行直接计算，在每秒 100 万次电子计算机上要用三个世纪，而 FFT 则只要一小时。

在数值计算领域，FFT 算法已成功用于卷积、多项式相乘等计算。FFT 在其他领域使用亦甚广泛，如在谱分析、数字信号、图象处理和全息照相等方面都有重要应用。

(陈增武)

kuangwu jueyuanyou

矿物绝缘油 (mineral insulating oil) 从石油中提炼精制而得的绝缘油，简称矿物油。石油的主要成分是烷烃、环烷烃和芳香烃，它们是制造绝缘油的主要成分。石油的组成成分随产地而异，环烷烃含量小于 30% 的原油常称为石蜡基原油，大于 35% 的原油常称为环烷基原油。一般用环烷基原油为原料提炼绝缘油。取轻质润滑油中不同的馏分油，控制精制深度，调整粘度、闪点、凝固点等，可以得到变压器油、电缆油、电容器油、开关油等不同用途的绝缘油。矿物油为非极性液体电介质，相对介电常数 ϵ_r 为 2.2 左右，标准电极（电极直径为 25 mm，边缘曲率半径为 2 mm，极间距离为 2.5 mm）中击穿电压不小于 30 kV，体积电阻率为 $10^{10} \sim 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ ，介质损耗因数小于 0.001。矿物油的闪点为 $125 \sim 135^\circ\text{C}$ ，凝固点为 $-10 \sim -55^\circ\text{C}$ 。变压器油的凝固点规定不高于 -25°C 或 -45°C (25 号或 45 号油)。为降低凝固点，可加入适当的降凝剂。为除去油中有害杂质，提高介电性能，应予以精制（见液体绝缘材料）。但矿物油过度精制会过多地除去油中所含天然抗氧化剂和芳香烃成分，降低稳定性与吸气性，故矿物油应控制适当的精制深度。金属铜、铅对矿物油的热氧化有显著催化作用，使用中应避免与之直接接触。为抑制油的老化，可加入抗氧化剂。轻度老化的矿物油可用白土精制、过滤，以恢复其绝缘性能。严重老化的油则需要用与精炼时相似的方法进行再生处理。

(王友功)

kuangtu

框图 (block diagram) 表示系统中每个环节的功能及其与其他环节的关系的图。框图亦称方框图或方块图。它以若干矩形的框的联系来表示系统的结构，因而也称为结构图。简单的框图仅表示系统的组

成和连接,另一种则还表明环节的传递函数和系统中信号的流向。图1表示一个框图单元。其中 $G(s)$ 为传递函数, $X(s)$ 为输入信号, $Y(s)$ 为输出信号。

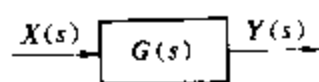


图1 框图单元

误差检测器框图 图2表示误差检测器的框图,它的输出信号 $E(s)$ 等于控制系统的输入信号 $R(s)$ 和反馈信号 $C(s)$ 之差。图中带 \times 的圆表示进行相加运算,每个箭头上的加号或减号,表示信号是相加还是相减。进行加、减的量,应具有相同的量纲和单位。圆中也可以带 Σ 或不带另加的记号。

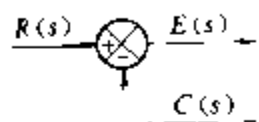


图2 误差检测器框图

闭环系统框图 图3表示一闭环系统框图。图中, $R(s)$ 为输入信号, $C(s)$ 为输出信号, $B(s)$ 为反馈信号, $E(s)$ 为误差信号, $G(s)$ 为前向传递函数, $H(s)$ 为反馈传递函数。于是,有

$$\text{开环传递函数} = B(s)/E(s) = G(s)H(s)$$

$$\text{闭环传递函数} = C(s)/R(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

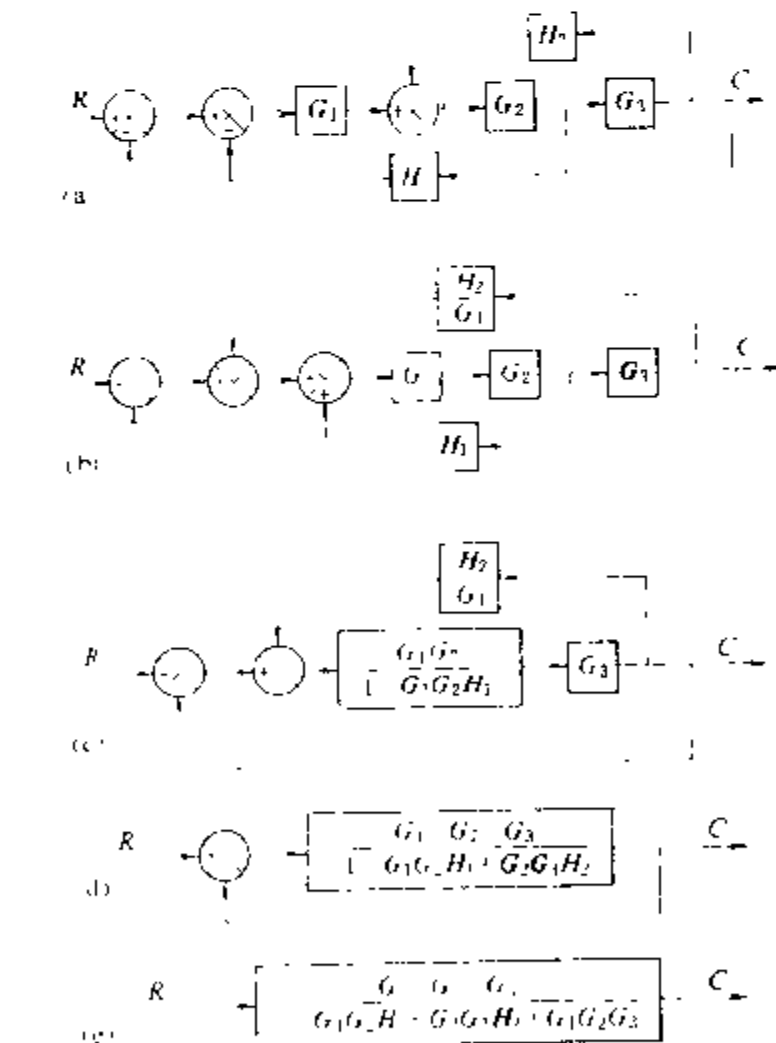


图4 框图简化示例

反馈传递函数 $H(s)=1$ 的系统称为全反馈系统,其闭环传递函数为 $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)}$ 。

框图绘制和简化 框图绘制步骤是:先写出描述每一环节的动态特性方程,然后假定初始条件为零,取拉普拉斯变换,得到每一方框的传递函数,最后将这些方框单元组成整体的框图。画框图时,一个方框的输出量不受其后的方框影响,才能串联连接。如果环节之间存在着负载效应,则必须予以考虑,归并为一个单一的方框。

复杂的框图常需简化。简化的一般法则是:移动分支点和相加点,交换相加点,减少内反馈回路等。简化应符合两条原则:(1)前向通路中传递函数的乘积应保持不变;(2)回路中传递函数的乘积应保持不变。图4示框图简化的例子。图中 $R(s)$ 、 $C(s)$ 、 $G(s)$ 和 $H(s)$ 分别简写为 R 、 C 、 G 和 H 。简化过程为(a)→(b)→(c)→(d)→(e)。

(徐瑞德)

kuasar

扩散 (diffusion) 由于电子、原子、分子和离子等微观粒子热运动引起的,使其本身从密度高的区域流向密度低的区域的物质输运现象。在气体放电中,扩散运动使得带电粒子从电离区域流失。扩散运动对于研究流注放电和火花放电通道是很重要的。

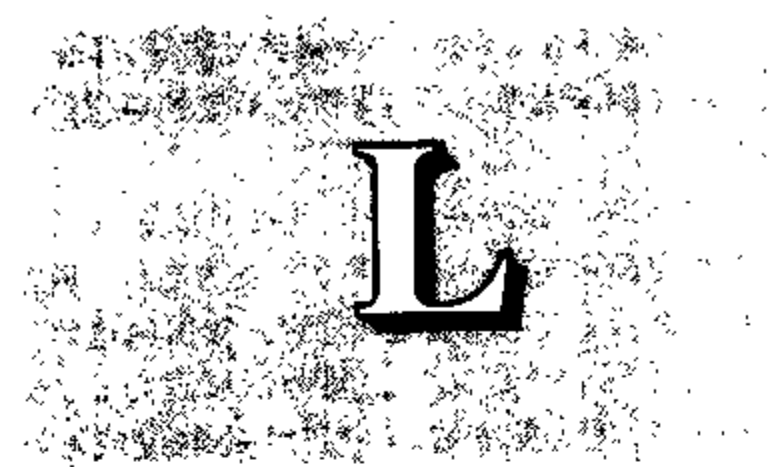
由于扩散运动,粒子数密度 n 随时间 t 和空间坐标 x 、 y 、 z 的变化,用扩散方程描述为:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) n = D \nabla^2 n$$

式中 D 是扩散系数,它表征扩散的速率。 D 和粒子的种类有关。 D 值随温度升高、粒子运动加快而增大;随气压增加、碰撞的平均自由程减少而降低。电子的扩散系数要比离子的大得多。

在实际的气体放电中,电子和离子之间的相互作用不容忽视,不能认为电子和离子可以独立地扩散。因为电子的扩散系数比离子的大得多,电子离开气体放电的通道要快得多,而在原处剩下净的正离子。正、负电荷分离而产生的电场要加速正离子的扩散并阻碍电子的扩散。最后,使得电子和正离子以同样的速度扩散。这种扩散叫做双极性扩散。当电子温度和离子温度相等时,双极性扩散系数比电子的扩散系数小得多,约为离子扩散系数的两倍。

(罗承沐)



LC zhengxianbo zhendangqi

LC 正弦波振荡器 (LC sine-wave oscillator)

以 LC 谐振回路作反馈电路的反馈型正弦波振荡电路。LC 振荡器的放大电路主要由晶体管或电子管组成。自激振荡频率基本上取决于谐振回路的电感 L 和电容 C ，振荡幅度主要受有源器件的非线性和电源电压的大小限制。

LC 振荡器因谐振回路具有很高的选择性，即使放大电路工作在非线性区，振荡电压波形仍非常接近于正弦波。但因它的谐振元件 L 、 C 之值限于体积不宜过大，故振荡频率不宜太低，一般为几百千赫至几百兆赫，最高可达 1000MHz 以上。频率稳定度一般为 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 数量级。谐振元件 L 、 C 的数值易于调节，用来改变振荡频率，因而为广播、通信、电子仪器、感应加热等电子设备所广泛采用。

LC 振荡器按电感、电容在电路中的接法不同可以分为电感三点式、电容三点式、变压器耦合式等主要类型。

电感三点式振荡器 又称哈特莱振荡器。电路如图 1 所示，构成正反馈的 L_1 、 L_2 分别接在晶体管集电极—发射极和基极—发射极之间， C 接在集电极—基极之间。

振荡频率为 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ，式中 $L = L_1 + L_2 + 2M$ ，

M 为 L_1 与 L_2 之间的互感。

这种振荡器电路简单，容易起振，频率调节方便，但波形一般不太好，含有较多的高次谐波分量。振荡频率可从几百千赫到几十兆赫，频率稳定度一般可达 10^{-4} 。

图 1 中晶体管系接成共射放大电路，也可接成共基放大电路。

电容三点式振荡器 又称科皮兹振荡器。电路如

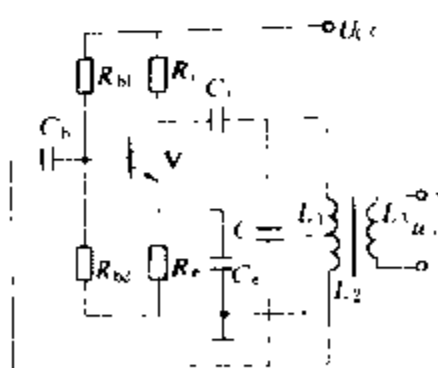


图 1 电感三点式振荡器

图 2 所示，构成正反馈的 C_1 、 C_2 分别接在晶体管集电极—发射极和基极—发射极之间， L 接在集电极—基极之间。

振荡频率为 $f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ，式中 $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ 。

该电路反馈取自电容两端电压，容抗随频率升高而减小，因而高次谐波将被抑制，故输出波形好，工作频率可达数百兆赫，但极间电容变化对频率稳定性影响较大，频率调节比较困难。

图 2 中晶体管系接成共射极放大电路，也可接成共基极放大电路。

电容三点式改进型振荡器 在电容三点式电路的

L 支路中，串联一个比 C_1 和 C_2 小得多的电容 C_3 (见图 3)，振荡频率将近似为

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$$

这样改进后，减轻了极间电容对频率稳定性的影响，也便于频率调节。改进后的电路又称为克拉泼振荡器。如

图 3 电容三点式改进型——克拉泼振荡器

如果在克拉泼振荡电路的 L 两端再并联一个小电容 C_4 ，如图 4 所示。这时振荡频率为 $f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3 + C_4)}}$ 。

这样改进的电路称为西勒振荡器。工作频率范围内振幅比较平坦，适于作可变频率振荡器。

变压器耦合式振荡器 又称调集振荡器。反馈通过变压器来实现，电路如图 5 所示。LC 谐振回路接在晶体管的

集电极—发射极之间， L_1 为变压器的一次绕组， L_2 为二次绕组，通过互感使基极和发射极之间得到一个反馈信号，变压器一、二次侧绕组的极性关系如图中的同名端所示，用以获得产生振荡所需的正反馈。

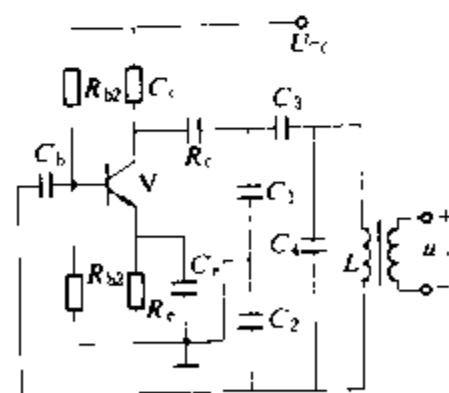


图 4 电容三点式改进型——西勒振荡器

当振荡频率 f_0 低于晶体管的共射截止频率 f_β 时,

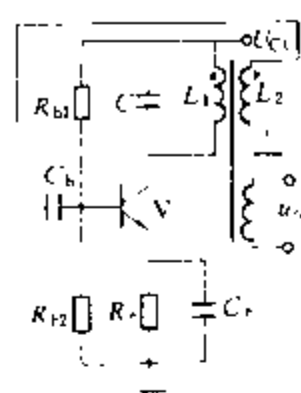


图5 变压器耦合式振荡器

振荡频率为 $f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{L'C}}$, 式

中 L' 为一等效电感, 包含其他绕组的影响。一般适用于产生几千赫到几兆赫的正弦波振荡。由于采用变压器耦合方式, 容易实现阻抗匹配, 也容易起振, 调节频率方便。

由以上分析可知, LC 振荡器适用于产生高频信号的场合,

不宜用于产生低频信号。因为随 f_0 的减小, L 值要以平方关系增大, 制造会出现困难。

(叶德璇)

Lapulasí fangcheng

拉普拉斯方程 (Laplace's equation) 以

法国数学家、天文学家 P. S. 拉普拉斯 (Pierre Simon Laplace) 姓氏命名的偏微分方程。在电磁学、力学、热学等学科中, 拉普拉斯方程用来描述静止场(不随时间变化的场)的特性。令 $A(x, y, z)$ 是被研究的场量(例如温度), x, y, z 是三维空间直角坐标系的三个坐标量。拉普拉斯方程的具体形式是

$$\frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} = 0$$

采用另一种坐标系, 拉普拉斯方程的形式随之改变。为了摆脱坐标系的具体形式, 常将拉普拉斯方程写成

$$\nabla^2 A = 0$$

静电场中的拉普拉斯方程 三维空间的某个区域 Ω 中充满了同一种各向同性的(见电磁场)线性电介质, 区域 Ω 内没有电荷。将 Ω 中的电位记作 V 。静电场的规律由拉普拉斯方程 $\nabla^2 V = 0$ 描述。

恒定磁场中的拉普拉斯方程 区域 Ω 中充满了同一种各向同性的线性磁介质, Ω 中没有电流。区域 Ω 是单连通的。将 Ω 中的磁标位记作 φ_m , 恒定磁场的规律由拉普拉斯方程 $\nabla^2 \varphi_m = 0$ 描述。

恒定电场中的拉普拉斯方程 区域 Ω 中充满了同一种各向同性的线性导电体, Ω 中没有电动势。导电体中的电位 V 满足拉普拉斯方程 $\nabla^2 V = 0$ 。

拉普拉斯方程的解 拉普拉斯方程的解, 决定于区域 Ω 边界上的场量。边界上给定的场量称边界条件。因此, 解静止场的问题, 通常是在给定的边界条件下解拉普拉斯方程: ①在区域形状简单、边界条件简单的条件下, 可以用解析方法解拉普拉斯方程。②用实验方法解拉普拉斯方程, 即测量出区域 Ω 中各处的场量。③利用计算机用数值方法解拉普拉斯方程。随着计

算机技术的发展, 数值方法得到广泛的应用。主要的数值方法有模拟电荷法, 有限元法, 边界元法等。下面以静电场问题为例来说明, 以边界面上给定的电位值作为边界条件。

模拟电荷法 在边界之外根据经验放置有限个电荷即模拟电荷, 据之计算边界上各点的电位。调整模拟电荷的数目、大小和位置, 直到计算出的电位值和给定的电位值之差在允许误差范围以内为止。然后根据模拟电荷计算区域 Ω 中各处的电位或电场强度。

有限元法 将区域 Ω 分割成有限个小的区域或单元。例如将平面场问题的区域剖分为有限个三角形面单元, 将三维场问题的区域剖分为有限个四面体单元。以单元顶点的电位为待求量, 单元内其他点的电位用线性插值方式表示。边界上顶点的电位等于给定的电位值。所有单元的合成, 形成一组代数方程, 由它计算出各单元顶点的电位, 用插值方法可计算区域中任一点的电位。

边界元法 在边界上放置等效的电荷面密度为 σ 的电荷, 使其在区域内建立的电场和原来所提问题中的电场相同, 于是问题归结为如何确定 σ 。将三维场问题的边界面分割成有限个小的单元, 例如三角形面单元。三角形面单元顶点处的电荷面密度为待求量, 单元内其他点处的电荷面密度用线性插值方式表示。由这一电荷分布计算出各单元顶点的电位, 并令其等于给定的电位, 从而计算出顶点的电荷面密度, 进而可计算该区域内任一点的电位或电场强度。上述方法称作间接边界元法。

泊松方程 若 $\nabla^2 A = 0$ 的等号右端不是0, 而是空间坐标的函数, 则此方程称为泊松方程。它是以法国数学家、物理学家 S. 泊松 (S. Poisson) 的姓氏命名的。例如在静电场的情况下, 若区域 Ω 中有电荷体密度 ρ 时, 电位 V 满足泊松方程:

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

其中常数 ϵ 为充满 Ω 的、同一种各向同性线性电介质的电容率。

(肖达川)

Laosi - Heerweici wending panju

劳思-赫尔维茨稳定判据 (Routh - Hurwitz stability criterion) 根据线性定常控制系统特征方程式的系数, 不用直接求解特征方程式就可以判断系统是否稳定的判据。

劳思稳定判据 系统特征方程式全部根中, 实部为正数的根的个数, 等于劳思阵列中第一列元素改变

符号的次数。运用这一判据的方法如下:

(1) 列出系统特征方程式 $a_0s^n + a_1s^{n-1} + a_2s^{n-2} + \dots + a_{n-1}s + a_n = 0$, 式中各项系数均为实数, $a_0 > 0$ 。

(2) 线性定常控制系统稳定的必要条件 (并非充分条件) 是特征方程式的所有系数都是正数。如果系数既有正数, 又有负数或零, 则必有实部是正数的复根或纯虚根, 系统是不稳定的。

(3) 作劳思阵列

s^n	a_0	a_2	a_4	a_6	a_8	...
s^{n-1}	a_1	a_3	a_5	a_7	a_9	...
s^{n-2}	b_1	b_2	b_3	b_4	...	
s^{n-3}	c_1	c_2	c_3	c_4	...	
s^{n-4}	d_1	d_2	d_3	...		
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots			
s^0	r_1					

系数 b_1 、 b_2 等根据下式计算:

$$b_1 = \frac{1}{a_1}(a_1a_2 - a_0a_3),$$

$$b_2 = \frac{1}{a_1}(a_1a_4 - a_0a_5), \dots$$

一直进行到其余的 b 值全部等于零为止。类似地

$$c_1 = \frac{1}{b_1}(b_1a_3 - a_1b_2),$$

$$c_2 = \frac{1}{b_1}(b_1a_5 - a_1b_3), \dots$$

$$d_1 = \frac{1}{c_1}(c_1b_2 - b_1c_2),$$

$$d_2 = \frac{1}{c_1}(c_1b_3 - b_1c_3), \dots$$

这种过程一直进行到 s^0 行被算完为止。完整的劳思阵列呈三角形。线性定常控制系统稳定的充分必要条件是其特征方程式的全部系数都是正数, 且劳思阵列第一列中的元素都具有正号。

例如, 系统的特征方程为 $s^5 + s^4 + 10s^3 + 72s^2 + 152s + 240 = 0$, 劳思阵列为

s^5	1	10	152
s^4	1	72	240
s^3	-62	-88	
s^2	70.6	240	
s^1	122.6		
s^0	240		

阵列中第一列的数有两次改变符号, 所以系统不稳定。

实际上, 特征方程的根为 -3 , $-1 \pm j\sqrt{3}$ 和 $+2 \pm j4$, 有两个根实部为正。

赫尔维茨判据 根据系统特征方程式 $s^n + a_1s^{n-1} + a_2s^{n-2} + \dots + a_{n-1}s + a_n = 0$ 的系数作行列式如下:

a_1	a_0	0	0	0	...	...
a_3	a_2	a_1	a_0	0	...	...
a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	...	...
a_7	a_6	a_5	a_4	a_3	...	...
a_9	a_8	a_7	a_6	a_5	...	...
...
...	...	...	...	...	...	a_n

行列式的阶数为 $n \times n$ 。在行列式的主对角线上, 从左上角到右下角的元素, 依次为 a_1, a_2, \dots, a_n 。在主对角线以右的元素, 下标依次减 1, 至下标为零为止; 在主对角线以左的元素, 下标依次增 1, 至下标为零为止。其余元素为零。

作上述行列式后, 再计算其各阶前主子式 $\Delta_i (i = 1, 2, \dots, n)$,

$$\text{即 } \Delta_1 = a_1, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ a_5 & a_4 & a_3 \end{vmatrix}, \dots$$

线性定常控制系统稳定的充分必要条件是: 在 $a_0 > 0$ 的情况下, 上述行列式的各阶前主子式均大于零。

上述两个判据, 由劳思和赫尔维茨分别给出, 形式上也有差别。但可证明, 二者是一致的。因此合称劳思-赫尔维茨判据。

这一判据可以判断线性定常控制系统稳定与否, 即判断系统的绝对稳定性, 但不能指出如何改善系统的相对稳定性, 也不能指出采取什么措施能使不稳定的系统达到稳定。

(钱源平)

leidian chongji dianya biaozhun boxing

雷电冲击电压标准波形 (standard lightning impulse voltage wave form) 见冲击电压发生器。

lengci dinglu

楞次定律 (Lenz law) 见电磁感应。

lisan xitong

离散系统 (discrete system) 系统中一处

或若干处的信号对于时间为离散型的系统。与连续系统不同,连续系统中的控制信号、输出信号、偏差信号和反馈信号全部是连续型的时间函数;离散系统中一处或若干处的信号是离散型(脉冲序列或数码)的,即仅在离散时刻 $0, T, 2T, \dots$ 上定义的。离散系统又称离散时间系统、采样数据系统或离散数据系统。

离散系统的信号为时间上不连续的序列,用“序列 $x(nT)$ ”表示,也可简写为 $x(n)$, $x(n)$ 仅对 n 为整数有意义($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$),如图 1 所示。 $x(n)$ 在各离散时刻的值为 $\dots, x(-2), x(-1), x(0), x(1), x(2), \dots$ 等,理论上可用无穷个数值表示,它是连续时间信号的采样值,又称为采样信号。在很多情况下, $n \geq 0$, 即为

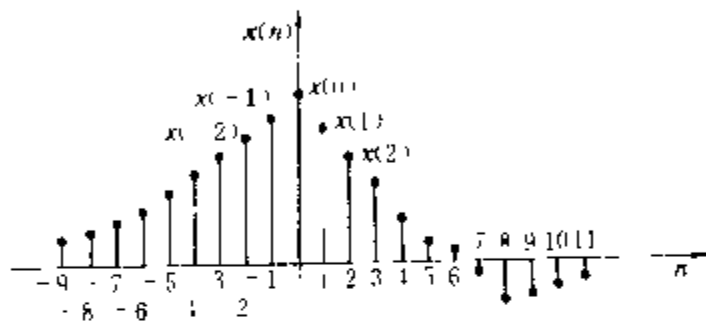


图 1 离散信号

$x(0), x(1), x(2), \dots$ 。为了便于数字计算机识别,离散信号的值要用二进制数码近似表示,这是量化过程。经量化后的离散信号,称为数字信号。在实际应用中,离散信号和数字信号常不予以区分。量化过程引起的误差,称为量化误差。

图 2 示一采样数据系统的框图及系统中的信号。系统由采样保持器 (S/H), 模/数变换器 (A/D)、数字信号处理环节和数/模变换器 (D/A) 组成。

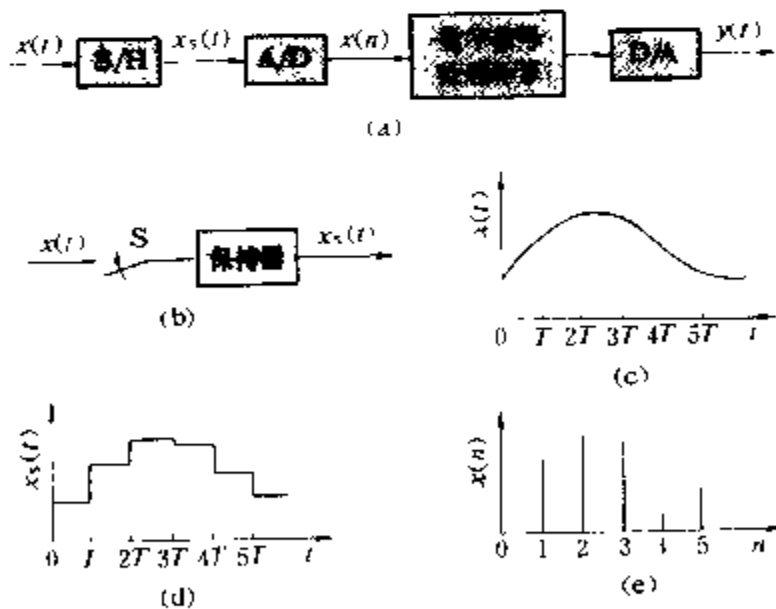


图 2 离散系统与信号

(a) 离散系统; (b) S/H 示意图; (c) 输入信号;

(d) A/D 输入信号; (e) A/D 输出数字信号

(1) 采样保持器 (S/H): 由采样开关 S 和一零阶

保持器组成,如图 2(b)所示。采样开关每隔 T 秒闭合一次, T 为采样周期。输入的连续信号 $x(t)$ 经采样后转变为发生在 $0, T, 2T, \dots$ 时的一串脉冲,脉冲宽度为采样开关闭合的时间,脉冲宽度与 T 相比可近似视为零。脉冲信号为仅在离散时刻 $0, T, 2T, \dots$ 有值的理想采样信号。为保证信号传递,采样信号必须保持一段时间,零阶保持器能使在两个相邻采样间隔之间将采样信号保持为常量,如图 2(d)所示。也有一阶保持器和高阶保持器,但其性能不见得一定优于零阶保持器,因此,用零阶保持器较多。

(2) 模/数变换器 (A/D): 将采样保持器的输出信号 $x_s(t)$ (模拟量) 量化成二进制的数字信号 $x(n)$,如图 2(e) 所示。采样信号的保持时间,必须满足 A/D 变换所需的时间。

(3) 数字信号处理环节: 主要由数字计算机、微处理器等硬件设备组成,收集数字信号,按系统设计要求进行运算处理,其输出也是数字信号。

(4) 数/模变换器 (D/A): 将处理好的数字信号变换为平滑的连续信号 $y(t)$ (模拟量)。

离散系统中的采样周期 T 与输入的连续信号中的最高次频率之间,必须满足采样定理,以保证信号的再现(见采样和信号再现)。

有线性的离散系统,也有非线性的离散系统,前者满足叠加原理。离散系统输出量与输入量之间的关系可用差分方程表示。使用 Z 变换,可将差分方程变为代数方程。这与在连续系统中使用拉普拉斯变换可将微分方程变为代数方程相似。离散系统也可用状态空间法求解。

除含有采样数据信号的离散系统外,还有自然的离散系统,例如,人口的增长和迁徙过程只能用离散数字描述。

参考书目

绪方胜彦著,现代控制工程,卢伯英等译,北京:科学出版社,1978

奥本海姆 A.V., 谢弗 R.V. 著,数字信号处理,董士嘉等译,北京:科学出版社,1982

(李 菊)

Likati fangcheng

黎卡提方程 (Riccati equation) 见线性二次型最优控制。

Liapunofu fangfa

李雅普诺夫方法 (Lyapunov method)

俄国学者李雅普诺夫 (Л. М. Ляпунов) 提出的分析稳定性的方法,包括第一法亦称间接法,和第二法亦称直

接法。适用于分析线性系统、非线性系统、定常系统和时变系统的稳定性，是更为一般的稳定性分析方法。

李雅普诺夫意义下的稳定性 考虑一零输入系统，其状态方程为 $\dot{x}=f(x,t)$ ，式中 x 为 n 维状态向量。设状态空间原点是平衡点，即 $f(0,t)=0$ 。如果对于每一充分接近原点的初始状态 $x(t_0)$ ， $x(t)$ 对所有 t 保持接近于原点，则称系统在原点是在李雅普诺夫意义下稳定的。如果原点是稳定的，且当 $t \rightarrow \infty$ 时 $x(t)$ 事实上趋近于原点，则称系统在原点是渐近稳定的。如果对于任意初始状态（无论它距原点远近如何），系统是渐近稳定的，则称系统是大范围渐近稳定的。

向量 x 的标量函数 $V(x)$ 的符号确定性

(1) 正（或负）定性：若在球域 $\|x\| \leq k$ 内的所有点上 $V(x) > 0$ （或 < 0 ），且仅当 $x=0$ 时有 $V(0)=0$ ，则称标量函数 $V(x)$ 是正（或负）定的。这里 $\|x\|$ 为 n 维向量 x 的欧几里德（Euclid）范数， $\|x\| = (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)^{1/2}$ 。

(2) 正（或负）半定性：若在球域 $\|x\| \leq k$ 内的所有点上 $V(x) \geq 0$ （或 ≤ 0 ），且 $V(0)=0$ ，则称标量函数 $V(x)$ 是正（或负）半定的。

(3) 不定性：若对于任意小的 k ，在球域 $\|x\| \leq k$ 内， $V(x)$ 既有正值又有负值，则称标量函数 $V(x)$ 是不定的。

用一次近似判定稳定性 李雅普诺夫第一法论证了用线性系统近似地代替非线性系统是否会在稳定性问题上得出错误结论。第一法的结果是，线性化后系统特征方程的根有以下三种情形：

(1) 都在左半复平面，则线性化后的系统也是渐近稳定的，原系统也是渐近稳定的。

(2) 只要有一个在右半复平面，则线性化后的系统是不稳定的，原系统也是不稳定的。以上两种情形，都可以按线性化后的系统判断原系统的稳定性。

(3) 有一个或几个落在虚轴上，其余在左半复平面，则原系统的运动稳定性与被忽略的高阶项有关，不能按线性化后的方程作判断。

李雅普诺夫第二法 它在实际中应用广泛。其基本思想是，若系统所具有的能量是状态向量 x 的函数，并且，随着时间的推移能量不断减小，一直达到平衡状态处减到最小值，则系统是渐近稳定的。李雅普诺夫构造了一个能量型的函数，称为李雅普诺夫函数 $V(x)$ ，只要这函数符合李雅普诺夫提出的稳定性准则，无需求出系统方程的解，就可以判断系统的稳定性。

有以下的李雅普诺夫稳定性定理。

定理一：设系统的状态方程为 $\dot{x}=f(x)$ ，其平衡状态为状态空间原点，如果在原点某邻域内存在一个具

有连续的一阶偏导数的标量函数 $V(x)$ ，并且满足以下条件：① $V(x)$ 是正定的；② $\dot{V}(x)$ 是负定的，则系统在原点处的平衡状态是渐近稳定的。此外，如果在整个状态空间上述条件满足，且随着 $\|x\| \rightarrow \infty$ ，有 $V(x) \rightarrow \infty$ ，则在原点处的平衡状态是在大范围内渐近稳定的。

定理二：系统的状态方程、平衡状态和标量函数 $V(x)$ 与定理一相同，且在原点某邻域内满足以下条件：① $V(x)$ 是正定的；② $\dot{V}(x)$ 是负半定的；③ $\dot{V}[\phi(t; x_0, t_0), t]$ 在非零状态不恒等于零，则在系统原点处的平衡状态是渐近稳定的。式中 $\phi(t; x_0, t_0)$ 表示 $t=t_0$ 时从 x_0 出发的解轨迹。

定理三：系统的状态方程、平衡状态和标量函数 $V(x)$ 与定理一相同，且在原点某邻域内满足以下条件：① $V(x)$ 是正定的；② $\dot{V}(x)$ 是负半定的，则系统在原点处的平衡状态在李雅普诺夫意义下是稳定的。

这样，判定稳定性问题就转化为 $V(x)$ 的选择。如果选了一个函数不能表明系统的稳定性，其他函数还可以尝试。如果用一个函数作检验稳定性条件不满足，这不表明系统是不稳定的。因为，上述定理给出的是稳定性的充分条件而不是充分必要条件。

对于一特定的问题寻找李雅普诺夫函数尚无通用的方法，常用的方法见变量-梯度法和克拉索夫斯基方法。

此外，有下述的不稳定性定理。

定理四：设系统的状态方程为 $\dot{x}=f(x)$ ，其平衡状态为状态空间原点，如果存在一个标量函数 $W(x)$ ，它具有连续的一阶偏导数，且满足以下条件：① $W(x)$ 在原点的某一邻域内是正定的；② $W(x)$ 在同样的邻域内也是正定的，则原点处的平衡状态是不稳定的（ $W = dW/dt$ ）。

参考书目

张英林，控制系统的稳定性分析，兰州：兰州大学出版社，1987

（邱家驹）

lixiang bianyaoqi

理想变压器 (ideal transformer) 输入电压和输出电压之比，等于其输出电流和输入电流之比的二端口元件。在任何时刻，理想变压器获得的总功率恒为零。因此，它既不耗能又不储能，而纯粹是一个传输能量和变换信号的元件。

在电路理论中，理想变压器的图形符号如图 1 所示。在图示的参考方向和同名端情况下，其一次侧与二次侧的电压和电流具有下列关系

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

$$-\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n}$$

式中 N_1 、 N_2 分别为一次和二次绕组的匝数, n 称为匝数比或变比。理想变压器除了变换电压和电流外, 还可以变换阻抗。在二次侧接上复阻抗 Z , 则一次侧的入端阻抗将是 $Z_1 = n^2 Z$ (见图 2)。

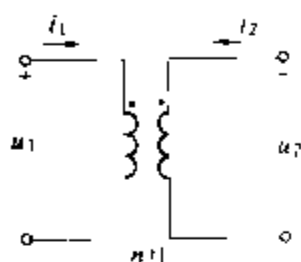


图1 理想变压器的电路图

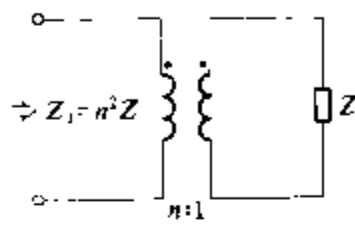


图2 理想变压器用于变换阻抗

理想变压器是从实际变压器中抽象出的理想化模型。忽略实际的双绕组铁芯变压器的损耗、漏磁和励磁电流时, 它就成为理想变压器。

实际变压器达不到上述理想化条件。一种可以采用的方法是在理想变压器模型的基础上, 附加上一些电阻、电感, 以组成实际变压器的模型, 如图 3 所示。图中, r_1 、 L_{s1} 、 r_2 、 L_{s2} , 分别为一、二次绕组的电阻和漏电感; L_m 为励磁电感, 电阻 r_m 则反映变压器的铁芯损耗。

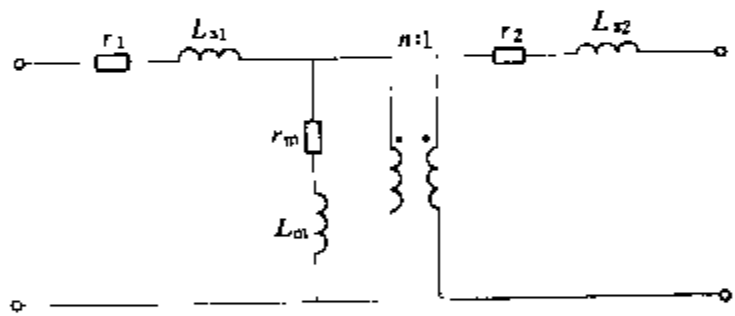


图3 实际变压器的模型

(龚绍文)

lianjie zhuangpei chengxu

连接装配程序 (linking loader) 把若干个经过编译或汇编所产生的目标模块连接装配成一个可执行程序的一种实用程序。随着计算机的应用和开发的不断深入, 源程序规模越来越大, 需要由多个人合作进行分块程序设计, 早期编译系统直接产生机器可以执行的目标程序的方法已不能适应, 于是出现了将源程序按结构分块分别进行编译的方法, 相应就产生了连接装配程序。

连接装配程序组合了再定位装配程序和连接编辑程序的功能。①再定位装配程序: 将一个具有相对地址的程序进行再定位并加工成绝对地址。②连接编辑程序: 将各个分别编译的模块和整个程序中所涉及的在程序库中的目标模块调入内存并连接在一起。另外还

有覆盖加工、程序修改和库访问等功能。

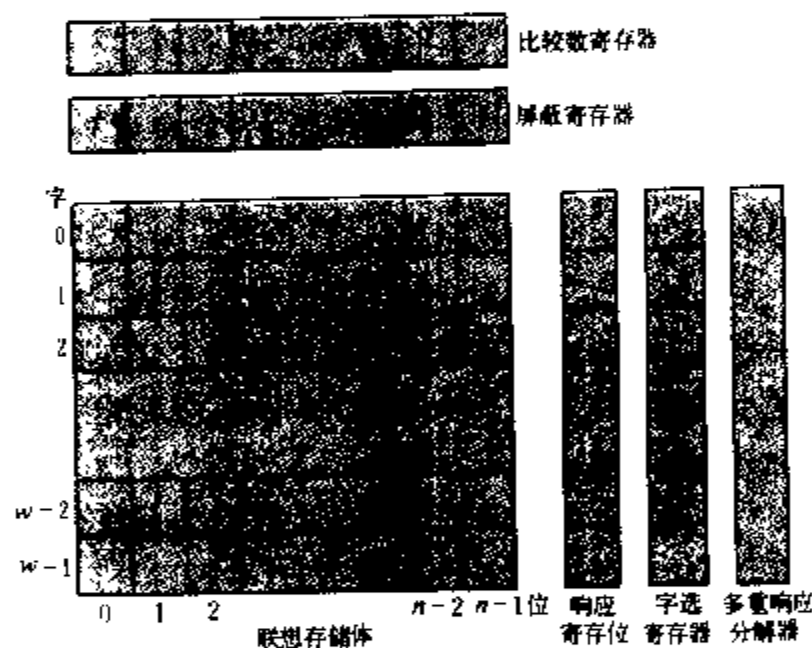
引入连接装配处理不仅使大型程序设计便于分工, 能按模块分别编程和调试, 而且为用户建立和调用程序库提供了方便。程序库收集了常用或用户自己所需的一些功能模块, 在编程时可直接引用程序库中的功能模块, 就象引用函数一样。

(金连甫)

lianxiang cunchuqi

联想存储器 (associative memory) 按给定内容的特征对各存储单元进行并行访问的存储器, 亦称按内容访问存储器。与入脑的“联想”功能相似, 其特点是速度快, 但结构复杂, 造价较高, 常用于多级存储体系的地址映射部件和大型数据库实时检索和更新, 还可用于构成集并行和联想技术于一体的联想处理机。

联想存储器基本组成如图所示。联想存储体每一单元有逻辑比较与读写控制等电路。查找的变量放在



联想存储器组成框图

比较数寄存器内, 经屏蔽寄存器屏蔽比较数寄存器的部分位数, 把未屏蔽部分作为查找变量送入联想存储体。同时, 各存储单元的比较逻辑电路将其内容与查找变量比较, 如果满足查找要求, 则在响应寄存器对应位置 1, 否则为 0。当有多重响应单元时, 如要读出, 则由多重响应分解器将其逐一分解, 确定地址顺序读出。如要写入, 则并行写入这些响应单元。有时也可根据单元地址写入信息。

联想存储器最基本的逻辑操作是全等比较, 通过相应算法成在存储单元增加逻辑电路可完成多种比较操作, 例如不等、大于、小于、区间内、区间外等。随着集成电路技术发展, 其造价将降低, 并将得到越来越多的应用。

(胡德河)

lingdian

零点 (zero) 见传递函数。

lingshuru xiangyin

零输入响应 (zero input response) 线性电路或线性控制系统在没有外加输入时的响应。零输入响应是由非零初始状态所引起的,以线性电路为例,它是由初始时刻电容中的电场储能、电感中的磁场储能所引起的。零输入响应由电路拓扑结构、元件参数和储能情况决定。若初始时刻储能为零,在没有输入信号作用的情况下,电路响应为零,即零输入响应等于零。

线性电路或线性控制系统的全响应可分解为零输入响应与零状态响应之和。

(郑君里)

lingzhuangtai xiangying

零状态响应 (zero state response) 在零初始状态下,由初始时刻开始施加于线性系统或线性电路的输入信号所产生的响应。

零状态响应由电路拓扑结构、元件参数和输入信号决定。

求零状态响应的一种重要方法是卷积积分法。

(郑君里)

liuzhu fangdian lilun

流注放电理论 (streamer theory of gas discharge) 解释气体击穿过程的基本理论之一。这种理论和汤森放电理论相互补充,它认为:在气体击穿的过程中,除了汤森放电理论中所阐述的电离现象之外,空间电荷引起的电场畸变以及间隙中的光电离也是很重要的影响因素。

汤森理论成功地解释了许多气体击穿现象,但这种理论比较适用于 pd 值(间隙里的气压 p 和间隙距离 d 的乘积)较小的情况。当 pd 值较大,一般说来,当 $pd \geq 0.1 \sim 0.2 \text{ MPa} \cdot \text{cm}$ 时,汤森理论即不再适用。按照汤森理论,气体间隙的击穿时间较长,例如当间隙距离为 1 cm 时,这个时间约为 100 ns ;但是实际观察得到的时间要小得多,约为 10 ns 。按汤森理论,气体放电的通道应是均匀的一片,但由实验观察到有的通道都很细,而且具有分枝的形式。实验还表明:间隙的击穿电压在 pd 值大时和阴极材料几乎无关。以上诸现象说明:当 pd 值较大时,汤森理论是不完善的,从而促进了新的解释气体击穿学说的发展。1940年 H. 雷特(H. Reather)、J. M. 米克(J. M. Meek)与 L. B. 廖勃(L. B. Leob)在观察云室中气体放电发展过程的

基础上,分别独立地提出了解释气体间隙击穿的流注放电理论。

流注放电理论的模型 H. 雷特、J. M. 米克等人在实验的基础上提出了如下的模型:间隙的放电先从电子崩开始;在电子

崩发展和行进过程中,因为电子的迁移率比离子高得多,所以在电子崩的头部集中了负电荷,而在尾部为正电荷。如图1所示,电子崩所形成的空间电荷要使间隙中的电场发生畸变;在电子崩的头部和尾部,由空间电荷的电场和外加电场叠加而得的复合电场要加强(图中箭头表示空间电荷产生的电场的方向)。当电子崩发展到一定的大小时,在电子崩的头部和尾部的复合电场达到很高的

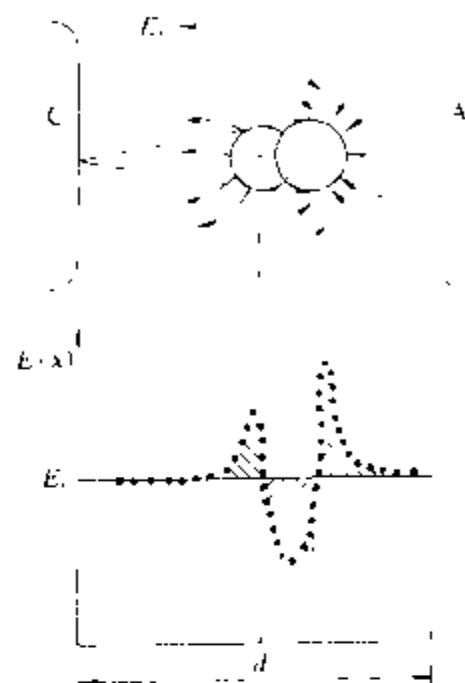


图1 电子崩的空间电荷引起间隙中电场的畸变

A、C—阳极和阴极; d —间隙距离;
 E_0 —无空间电荷时的电场; $E(x)$ —空间电荷产生的电场与 E_0 相叠加而形成的复合电场

数值,使其附近的气体原子和分子发生电离和激励。同时,在此处正、负带电粒子的复合以及受激原子、分子的跃迁都会释放出光子。这些光子又使周围的气体分子、原子发生光电离,并产生新的电子。新产生的电子在强电场的作用下形成所谓的二次电子崩(或称子崩)。由初始及二次电子崩的大量正、负带电粒子组成电离度很高的通道区域,即流注。当流注贯穿整个间隙时,则造成间隙的击穿。在流注放电理论中,光电离是重要的因素。因为光子飞行速度很快,所以流注发展也很快,由此可以解释间隙的击穿时间可以很小的原因。

流注放电的发展过程 流注可分为正流注与负流注。

(1) 正流注:从阳极方向朝阴极方向发展的流注。图2表示从电子崩发展成为流注的过程。A、B分别表示在外光源照射或正离子撞击阴极而从阴极释放出的自由电子。这些电子在外电场的作用下,朝阳极运动并和周围的原子、分子发生碰撞电离,使电子倍增形成电子崩。C和D是不同发展阶段的电子崩。在电子崩朝阳极行进过程中,因电子的迁移率大,电子崩头部集中电子,尾部集中正离子。由于扩散作用,使电子崩的头部呈球状,尾部为锥形。当电子崩走完整个间隙后,其头部的电子进入阳极,空间电荷形成很强的电场。此时

由电子崩发射出的大量光子，将使周围气体发生光电离而产生电子-正离子对E。新产生的电子在电场中加

展为流注M，同时在阳极处形成正流注N和在阴极处形成负流注O。流注理论中关键的机制是间隙中发生的

光电离过程。由此也可以解释间隙的击穿电压与阴极材料几乎无关。

电子崩转化为流注的条件
H. 雷特在实验观测的基础上得出流注形成的经验公式： $\alpha x_c = 17.7 + \ln x_c$ ，式中 α 为电子的碰撞电离系数（见

汤森放电理论）； x_c 为电子崩发展的临界距离，cm。从上式可求得均匀电场中的自持放电条件为 $\alpha d \approx 20$ （ d 为极间距离，cm），并可推出相应的间隙击穿电压。此时崩头中的电子数约为： $\exp(20) \approx 10^8$ 个。在汤森放电理论中，自持放电条件为： $\alpha d = \ln(1/\gamma + 1) = 8 \sim 10$ 。式中 γ 系数为一个正离子打到阴极时所释放的二次自由电子数。

参考书目

Kuffel E. and Zaengl W. S. High-Voltage Engineering. Pergamon Press, Oxford, 1984

杨津基. 气体放电. 北京: 科学出版社, 1983

(罗承沐)

liuhuage

硫化镉 (cadmium sulphide) 一种化合物半导体材料，分子式CdS。六角晶系，禁带宽度2.4 eV，电子与空穴迁移率分别为 $200 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 和 $20 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，掺入Cu、Ag等一价金属杂质在禁带中形成受主能级，掺入Al等三价金属杂质在禁带中形成施主能级。本征电导对可见光十分敏感，本征吸收长波限为 $0.513 \mu\text{m}$ ，掺杂可以提高光响应灵敏度。通常由向Cd的硫酸盐溶液中通入硫化氢沉淀来制取，为黄色粉末，熔点 1750°C ，不易生成单晶。用粉末硫化镉为原料通过烧结成真空蒸发制成多晶体可作光电导元件，除用于可见光区外，还可有效地用于短波，直至x射线区。其优点是灵敏度高、价格便宜。近年来发现硫化镉与硫化锌的固溶体可制成波长 $4900 \text{ \AA} \sim 6750 \text{ \AA}$ 的激光器，与碲化镉混合制成的多晶薄膜可作异质结太阳能电池。虽然效率不高，但成本低，且可方便地制成大面积器件。与单晶半导体相比，硫化

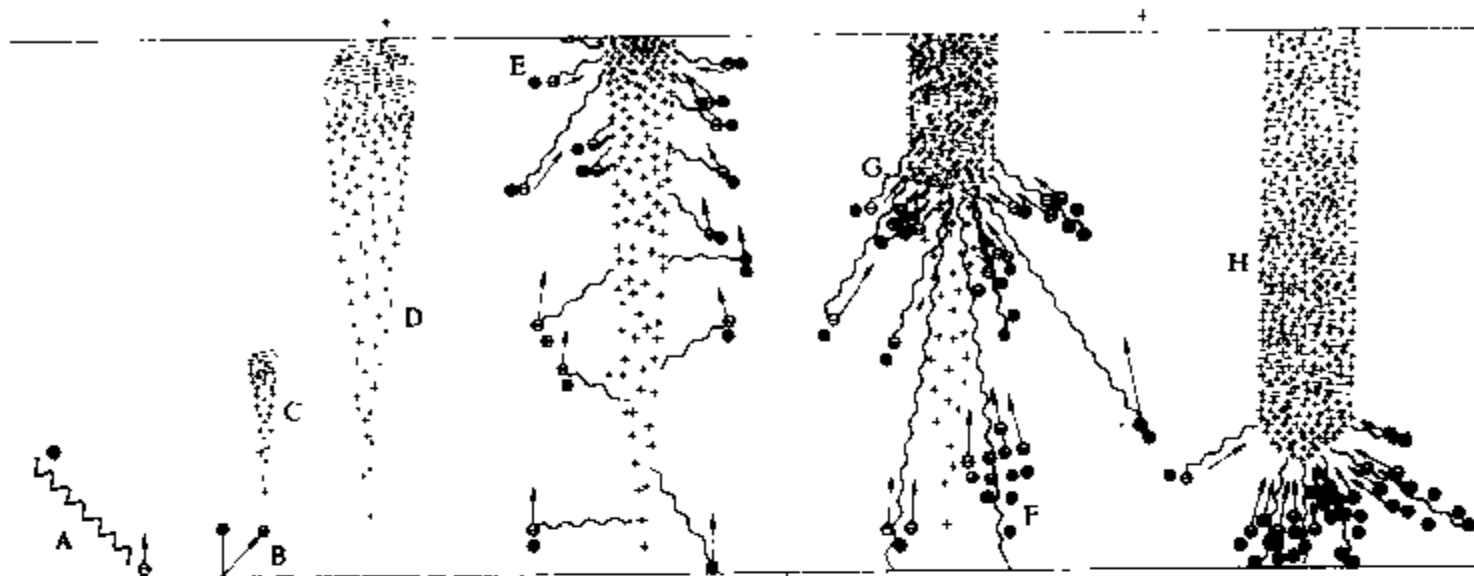


图2 正流注的发展过程

○—电子；⊕—正离子；——光子；⊕⊖—光电离形成的正负离子对

速又产生二次电子崩F。它们与起始电子崩汇合，形成导电良好的等离子体通道G—流注。不断向阴极发展的流注H最后贯通整个间隙，使间隙击穿。

从图3可以看到分枝流注发展的情况。在流注I的尾部同时形成两个电子崩J和K。由于光电离，使两个电子崩发展成为分叉的两个流注。

由此可见，流注理论可以解释放电通道具有较细的分枝的原因。



图3 分枝流注

(2)负流注:从阴极方向朝阳极方向发展的流注。当外加电压较高时，初始的电子崩不用走完整个间隙距离，其头部的电场就已足够强，从而形成位于间隙中间的流注L（见图4），并向阴极发展。同时，由于流注L和阳极之间电场很强，发生电离和二次电子崩，二次电子崩汇入流注，又使流注向阳极发展。流注L朝两个方向发展后扩

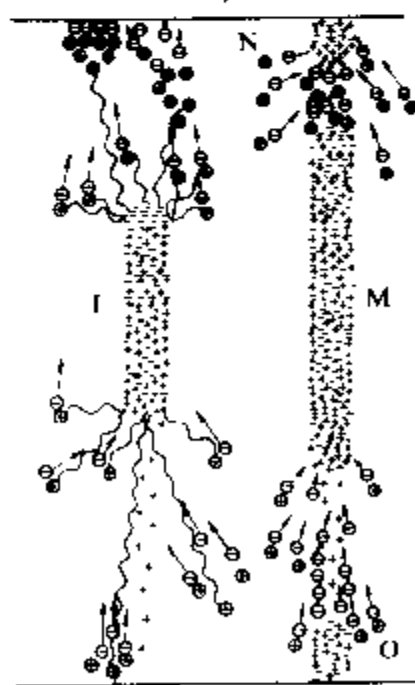


图4 负流注

镉发现较早,但对其了解和应用都还有待进一步研究。

(刘辅宜)

liufuhualiu

六氟化硫 (sulphur hexafluoride) 一种无色、无臭、无毒、不燃的惰性气体,分子式 SF_6 。它的分子量为146.07,在 20°C 和 0.1MPa 时密度为 6.08g/l ,约为空气密度的5倍。 SF_6 在常温常压下为气态,其临界温度为 45.6°C ,三态点温度为 -50.8°C ,常压下升华点温度为 -63.8°C 。 SF_6 分子结构呈八面体排布,键合距离小、键合能高,因此其稳定性很高,在温度不超过 180°C 时,它与电气结构材料的相容性和氮气相似。

SF_6 是强电负性气体,它的分子极易吸附自由电子而形成负离子,削弱气体中碰撞电离过程,因此其电气绝缘强度很高,在均匀电场中约为空气绝缘强度的2.5倍。 SF_6 气体在 $t \approx 2000\text{K}$ 时出现热分解高峰,因此在交流电弧电流过零时 SF_6 对弧道的冷却作用比空气强得多,其灭弧能力约为空气的100倍。由于 SF_6 气体具有优良的灭弧性能和绝缘性能以及良好的化学稳定性,它从20世纪50年代末开始被用作高压断路器的灭弧介质。目前在超高压和特高压断路器中, SF_6 已完全取代油和压缩空气而成为唯一的灭弧介质。从60年代中期起, SF_6 被广泛用作高压电气设备的绝缘介质。 SF_6 气体绝缘的全封闭组合电器比常规的敞开式高压配电装置占地面积小得多,且其运行不受外界气象和环境条件的影响,因此不仅广泛用于超高压和特高压电力系统,而且已开始用于配电网(。 SF_6 气体绝缘的开关柜和环网供电单元)。 SF_6 气体绝缘的管道输电线的优点是介质损耗小、传输容量大、且可用于高落差场合,因此常用于水电站出线,取代常规的充油电缆。 SF_6 气体绝缘的变压器具有防火防爆的优点,这种配电变压器特别适用于人口稠密的地区和高层建筑的供电。目前 SF_6 气体绝缘的超高压变压器已研制成功,全气体绝缘变电所将是变电技术今后发展的一个方向。

SF_6 本身虽然无毒,但在电弧、火花或电晕放电的作用下会分解生成一些有毒的低氟化物,因此在气体绝缘的电气设备中必须安放吸附剂。常用的吸附剂有活性氧化铝和分子筛,吸附剂的量应不小于 SF_6 气体重量的10%。 SF_6 气体的含水量过高会危及电气设备的安全运行,这是因为气体中水分对 SF_6 气体分解物的生成有影响,且水与酸性杂质在一起时会腐蚀材料和导致机械操作失灵。此外,水分在低温下会在固体绝缘表面凝露导致绝缘闪络事故。中国国家标准和国际

电工委员会(IEC)标准中都对 SF_6 新气和电气设备中 SF_6 气体的允许含水量作出规定。活性氧化铝和分子筛对 SF_6 中水分也有吸附能力,所以对受潮的吸附剂应及时更换。

由于 SF_6 气体的有效碰撞电离系数(即电子碰撞电离系数与电子附着系数的差值)随电场强度的增大而激增,因此 SF_6 气体在不均匀电场中的绝缘性能下降,即使是局部微小的电场畸变也会使 SF_6 的绝缘强度明显下降。所以在设计 SF_6 气体绝缘的电气设备时应使电极间电场尽可能均匀,在电极加工时应注意其表面粗糙度不超过规定值,在安装时则应注意防止安装错位引起电极表面缺陷以及避免导电微粒进入设备。封闭式组合电器与管道输电线都是在现场安装的,因此在投入运行前必须进行现场耐压试验,这一点是与常规电气设备不同的。

SF_6 气体还可与氮气组成 $\text{SF}_6\text{-N}_2$ 混合气体,用作高寒地区断路器的灭弧介质,以防止高气压的 SF_6 在低温下液化。这种 $\text{SF}_6\text{-N}_2$ 的常用混合比约为50%,50%,其绝缘强度约为纯 SF_6 气体的85%。气体绝缘开关柜不能在充 SF_6 气体前先抽真空而必须采用取代法充气,因此柜中气体介质约含有5%空气,但此种少量空气的存在不会对充 SF_6 气体的开关柜的绝缘强度有多少影响。其他 SF_6 混合气体还处于研究阶段,尚未得到工业应用。

(邱毓昌)

luogefusiji xianquan

罗戈夫斯基线圈 (Rogowski coil) 见冲击大电流测量。

luojihanshu

逻辑函数 (logic function) 反映数字电路(逻辑问题)输入变量和输出变量之间逻辑关系的函数。逻辑代数是处理逻辑函数的有力工具。为了得到简化的数字电路,可对逻辑函数进行化简。

逻辑代数的基本公式与定律

(1) 三种基本运算,见表1。

(2) 十个基本定律,见表2。

在上述十个定律中,定律形式a和b具有“对偶”的性质。它们遵守对偶原则,这个原则的要点如下:

设F是一个逻辑函数表达式,如将F中所有的符号“+”换为“·”,将“·”换为“+”,将1换为0,将0换为1,那么就得到一个新的表达式,叫做对偶式,记作 F' 。例如:

$F=L=A \cdot (B+C)$, 则 $F'=L' = A + (B \cdot C)$

逻辑函数的表示方法 有下列四种。

(1) 真值表：以表格的形式表示逻辑函数各变量取值的组合和函数值的关系。

(2) 函数表达式：它是通过与、或、非运算把各个变量联系起来，表示逻辑函数。

(3) 逻辑图：它是一种比较接近工程实际的表示逻辑函数的方法。

(4) 卡诺图：它是逻辑函数的最小项方块图表示法。它用几何位置上的相邻，形象地表示组成逻辑函数的各个最小项之间在逻辑上的相邻性。

这四种逻辑函数的表示方法在本质上是相通的，可以互相转换。

表 1 逻辑代数的基本公式

$L=A \cdot B$	$L=A+B$	$L=A$
---------------	---------	-------

表 2 逻辑代数的基本定律

序号	名称	定律形式 a	定律形式 b
1	交换律	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
2	结合律	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
3	分配律	$A \cdot (B + C) = AB + AC$	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
4	同一律	$A \cdot 1 = A$	$A + 0 = A$
5	零元素	$A \cdot 0 = 0$	$A + 1 = 1$
6	互补律	$A \cdot \bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
7	重叠律	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
8	吸收律	$A + (A \cdot B) = A$	$A \cdot (A + B) = A$
9	否定律	$\bar{\bar{A}} = A$	
10	反演律 (摩根定理)	$\overline{(A \cdot B \cdot C \cdots)} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \cdots$	$\overline{(A + B + C + \cdots)} = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdots$

逻辑函数的化简 通常有下列两种方法。

(1) 公式化简法：利用逻辑代数的公式和定律，经过运算，对函数的逻辑表达式进行化简，以求得最简的表达式。

(2) 图形化简法：利用函数的卡诺图进行化简。这种方法的优点是简单直观，容易掌握，但在逻辑变量多于 5~6 个以后，就不存在简单、直观的优点，从而失去了实用意义。

在设计实际数字电路时，为了减少所用的集成电

路数目，往往不采用单一品种的门电路。这时化简后的最简逻辑表达式，既不是“与非—与非”形式，也不是“或非—或非”形式，而是一种混合的形式。

(汤之璋)

lu

铝 (Aluminium) 金属元素，化学符号 Al，原子序数 13。20℃时，铝的电阻率为 $2.65 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ，除贵金属银和金外，导电性仅次于铜。铝的蕴藏量极丰富，价格低，密度不到铜的三分之一（20℃时，铝的密度为 $2.70 g/cm^3$ ，铜的密度为 $8.89 g/cm^3$ ），铝导线和铜导线电阻相同时，铝线直径是铜线的 1.3 倍，而重量约为铜线的 1/2。铝的加工性能比铜差，特别是耐蠕变性能差，不宜拉制细丝。焊接性能差，也使其应用受限制。但延展性好，可制铝箔，应用很广，如制作电容器极板等。

由于铜资源贫乏，在大量用铜的电线电缆行业中，各种大电流传输线有以铝代铜的趋势。但铝的抗张强度差，为弥补这一缺点，常采用铝包钢，即钢芯铝绞线。由于趋肤效应，铜芯对导电性影响很小，却增加了抗张强度。此外，采用适当的热处理也能改善铝的机械性能。

铝的导电性也和杂质密切相关，含有铬、锂、锰、钒等杂质时，

电阻率迅速增加。当含有铜、硅、锰、镁、铁等杂质时，导电性较差而硬度较高，称硬铝。

铝表面的氧化膜通常可起到防腐蚀的作用，但如接触酸、碱、盐及腐蚀性气体，将导致强烈的腐蚀。

目前稀土铝在架空线上应用极广。

(黄嘉豫)

lubo

滤波 (filtering) 见卡尔曼滤波。

M

maikesiwei

麦克斯韦 (maxwell) CGS 电磁制中磁通量的单位。麦克斯韦简称麦，符号是 Mx。令环链着单匝线圈中的磁通量以均匀速率在 1s 内下降到零。若该线圈在此时间内的感应电动势是 $1 \times 10^{-8} \text{V}$ ，则原来环链着线圈的磁通量定义为 1Mx。

国际单位制 (SI) 中，磁通量的单位是韦伯 (Wb)。这两个单位的换算关系是

$$1\text{Mx} = 10^{-8}\text{Wb}$$

中国规定，麦克斯韦是暂时和国际单位制并用的磁通量单位。

(肖达川)

Maikesiwei fangchengzu

麦克斯韦方程组 (Maxwell's equations)

描述电磁场中场矢量和它们与自由电荷密度、电流密度之间关系的偏微分方程组。它是由 J.C. 麦克斯韦 (James Clerk Maxwell) 在 1864 年提出的。在静止媒质中，方程组可表示为

$$\nabla \times H = J_c + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (4)$$

式中 H 为磁场强度； E 为电场强度； B 为磁感应强度或磁通密度； D 为电位移矢量或电通密度； J_c 为传导电流密度； ρ 为自由电荷密度； t 为时间。这里采用国际单位制 (SI)。 $\partial D / \partial t$ 为位移电流密度，它是由 J.C. 麦克斯韦根据 M. 法拉第 (Michael Faraday) 关于时变电场可以产生磁场的设想提出的。传导电流与位移电流的总和为全电流。式 (1) 称全电流定理。它示出全电流密度与磁场的关系，并说明电场随时间变化时位移电流和传导电流一样伴随有磁场。式 (2) 称法拉第电磁感应定律，它说明磁场随时间变化时伴随有电场。式 (3) 表示磁通连续性原理。式 (4) 为用电位移矢量

表示的高斯通量定理。式 (1) 及式 (4) 隐含着电荷守恒原理。

此外，反映媒质特性关系的本构方程为

$$D = \epsilon E \quad (5)$$

$$B = \mu H \quad (6)$$

$$J_c = \gamma E \quad (7)$$

式中 ϵ 、 μ 和 γ 分别为媒质的电容率、磁导率和电导率。式 (7) 为欧姆定律的微分形式，但它不适用于超导体材料。

麦克斯韦方程组与本构方程构成了描述电磁场空间分布与时间变化规律的完整方程组。J.C. 麦克斯韦根据这些规律得出了电磁波与光的同一属性，两者以同样有限速度 (光速) 传播。1887~1888 年，这个预见为 H.R. 赫兹 (Heinrich Rudolf Hertz) 的实验所证实。

(马信山)

Maikesiwei - wen'en dianqiao

麦克斯韦-维恩电桥 (Maxwell-Wien bridge)

见交流电桥。

maichong shunxu fenpeiqi

脉冲顺序分配器 (distributor of sequent pulses)

按时间先后顺序周期地产生系列脉冲的时序逻辑电路，又称顺序节拍脉冲发生器。用于需要按规定顺序操作的场合，如工业生产流程线的顺序动作控制信号、注塑机、纺织机、数控机床等。

脉冲顺序分配器的结构有两大类型：一类是计数器型；一类是移位寄存器型。前者由计数器和译码器组成，后者由移位寄存器接成扭环型计数器构成。图 1 为由 D 触发器构成的三位同步六进制扭环型计

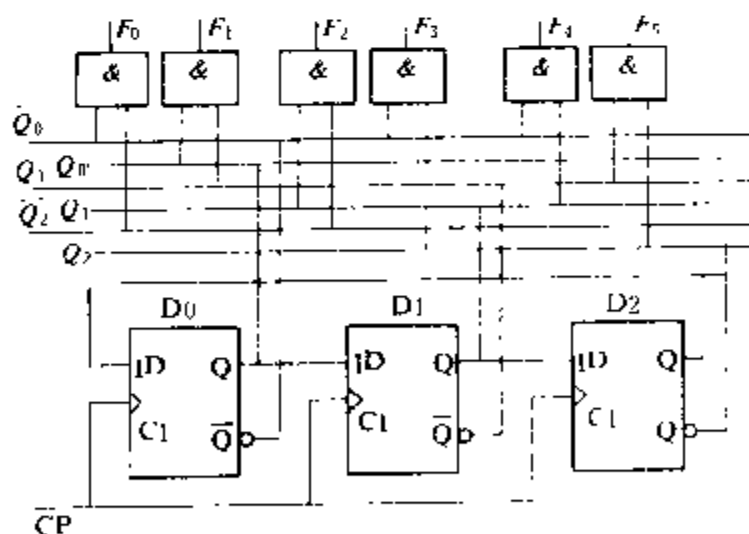


图 1 脉冲顺序分配器电路

数器 (D2 的 \bar{Q} 接 D0 的 D) 和由与门构成的译码器组成的电路。图中将输入脉冲信号 CP 经过计数器产生连续输出的二进制代码，再由译码电路变成一个一

个脉冲信号输出。计数器每产生一个代码，译码器输出一个脉冲，计数器

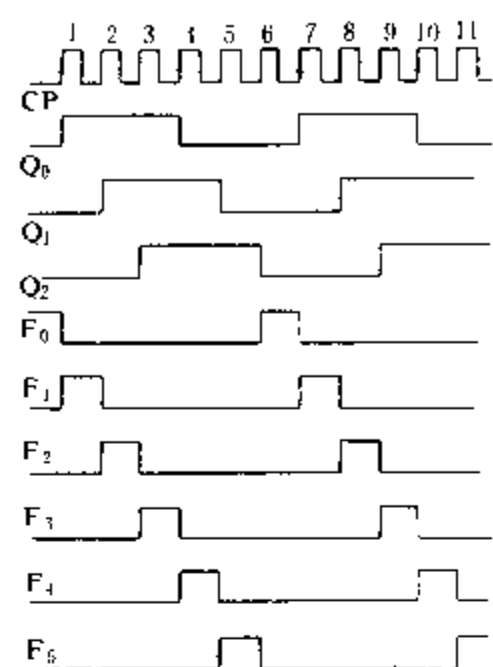


图2 脉冲顺序分配器时序图

输出一个脉冲，计数器输出状态不断地循环变化，译码器输出从 $F_0 \sim F_5$ 按顺序轮流输出脉冲信号，如图2所示。图2称为时序图， $F_0 \sim F_5$ 输出逻辑关系为：

$$F_0 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_2$$

$$F_1 = Q_1 \bar{Q}_2$$

$$F_2 = Q_2 \bar{Q}_3$$

$$F_3 = Q_1 Q_2$$

$$F_4 = \bar{Q}_1 Q_2$$

$$F_5 = \bar{Q}_2 Q_3$$

从图2可知， $F_0 \sim F_5$ 依次顺序产生脉冲输出。脉冲的个数取决于采用

哪种进制的计数器。由于图1为一个六进制扭环形计数器，在CP脉冲作用下，触发器状态转换如图3所示，每一循环，译码器输出6个按时间顺序分时的脉冲信号。

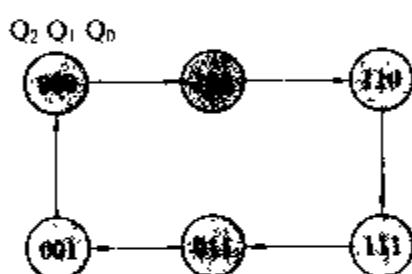


图3 计数器部分状态转换图

(唐泽荷)

men dianlu

门电路 (gate circuits) 构成数字电路的基本单元。每一种门电路的输入与输出之间，都有一定的逻辑关系。这里逻辑是指“条件”与“结果”的关系。利用电路的输入信号反映“条件”，而用电路的输出反映“结果”，从而使电路的输出、输入之间代表了一定的逻辑关系。最基本的逻辑关系可以归结为与、或、非三种。其他复杂的逻辑关系都是由这三种基本逻辑关系组合而成的，因此可以利用基本门电路（见与、或、非、异或门）组成具有各种逻辑功能的数字电路。

在逻辑电路中，存在着两种相互对立的逻辑状态，例如电位的“高”与“低”，脉冲的“有”与“无”，开关的“合”与“开”，事物的“真”与“假”等。通常用符号0和1表示两种对立的逻辑状态，称为逻辑0和逻辑1。这样就可选用各种仅具有两种状态的元件来组成各种逻辑功能的电路，如继电器、开关、二极管和三极管、集成门电路等。

在逻辑电路中，有两种逻辑体制：一种用1表示高

电位，用0表示低电位，这就是“正逻辑体制”。另一种是用1表示低电位，用0表示高电位，这就是“负逻辑体制”。

对于同一电路，可以用正逻辑体制，也可以用负逻辑体制。根据所选用正负逻辑体制的不同，即使同一电路也具有不同的逻辑功能。

在逻辑电路中，电位的高、低常用高电平、低电平来描述，单位为伏[特]，V。由于温度变化、电源电压波动、干扰及元件特性变化等因素的影响，实际的高电平和低电平都不是一个固定数值，因此通常考虑一个电平变化范围。如果电平在此范围内，就判断为1状态或0状态。

(汤之璋)

mianji xiaoying

面积效应 (area effect) 见液体电介质小桥击穿。

miaoshu hanshufa

描述函数法 (describing function method)

应用描述函数表述非线性环节以分析研究非线性系统的方法。非线性元件输出的基波分量对正弦输入之比称为描述函数，其值一般是复数。

若非线性元件的输入端输入正弦函数，则在其输出端得到的一般不是正弦函数，除了基波分量而外，还包含有高次谐波。在大多数实际的非线性元件的输出中，基波分量是主要的，高次谐波的振幅通常比基波分量的小得多，系统的非线性程度并不高。而且，大多数控制系统是低通滤波器，高次谐波衰减较多，因而，可以应用描述函数法。

原理 设非线性元件的输入为 $x(t) = A \sin \omega t = A \sin \theta$ ，这里 A 为振幅， ω 为频率， θ 为相角。非线性元件的输出为 $y = f(x)$ ，输出 y 可以展开成下列傅立叶级数

$$y = a_0 + (a_1 \sin \theta + a_1 \cos \theta) + (a_2 \sin 2\theta + a_2 \cos 2\theta) + \dots$$

式中 a_0 为直流分量； $a_1, a_1, a_2, a_2, \dots$ 为傅立叶系数。对于一般的非线性元件， $a_0 = 0$ 。只考虑基波分量，即只计算

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin \theta d\theta, a_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos \theta d\theta$$

这时输出的基波分量为 $y_1 = a_1 \sin \theta + a_1 \cos \theta = Y_1 \sin (\theta + \phi)$ ，式中 $Y_1 = \sqrt{a_1^2 + a_1^2}$ ， $\phi = \arctg (a_1/a_1)$ 。

一般将描述函数记作 $Ne(A, j\omega)$ ，以表明它与输入量的幅值和频率的依赖关系。当只与幅值有关而与频率无关时，则可用 $Ne(A)$ 表示。

根据上面所作的分析推导,有

$$Ne(A) = \frac{Y_1}{A} \angle \phi$$

$$= \frac{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}}{A} \angle \arctg(a_2/a_1)$$

或 $Ne(A) = g(A) + jb(A)$
 式中 $g(A) = a_1/A, b(A) = a_2/A$ 。在许多情况下, $b(A) = 0$ 。

例如非线性元件为理想继电器,图1(a)示其输入-输出特性,图1(b)示为其对于正弦输入的响应

$$f(x) = f(A \sin \theta) = \begin{cases} E, & 0 < \theta < \pi \\ -E, & \pi < \theta < 2\pi \end{cases}$$

$$Ne(A) = \frac{1}{A} \int_0^{2\pi} E \sin \theta d\theta = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} E \sin \theta d\theta = \frac{2E}{\pi A} \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta = \frac{4E}{\pi A}, b(A) = 0$$

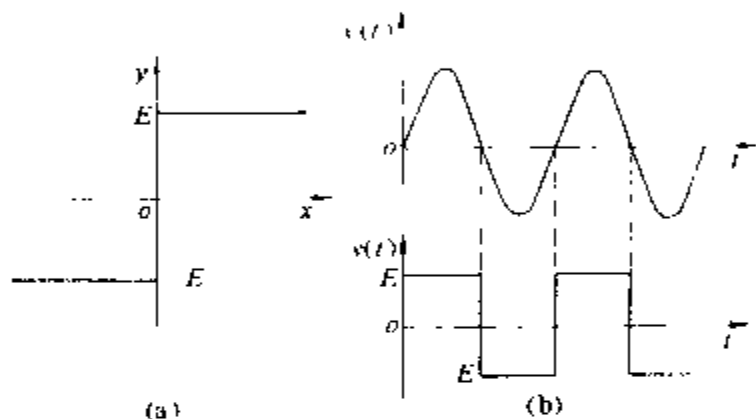


图1 理想继电器特性

(a) 输入-输出特性; (b) 对于正弦输入的响应

在论述非线性系统的控制理论著作中,往往列出了常用的具有分段线性性质的非线性元件的特性及其描述函数。

应用 描述函数在分析研究非线性控制系统中的应用,可举例说明如下:设非线性系统的框图如图2(a)所示,图中 N 为非线性元件, $G(s)$ 为线性部分的传递函数。闭环系统的特征方程式是 $1 + G(j\omega) \times Ne(A) = 0$ 即

$$G(j\omega) = -\frac{1}{Ne(A)} \quad (1)$$

式中 $G(j\omega)$ 为线性部分的频率特性; $Ne(A)$ 为非线性元件的描述函数。这里,假设 Ne 只依赖于 A ,且 G 是开环稳定的,这是通常遇到的情况。

可以分别画出 $G(j\omega)$ 和 $-\frac{1}{Ne(A)}$ 的根坐标图以分析式(1)。先设 $Ne(A) = 1$,则式(1)将变为 $G(j\omega) = -1$,系统成为一线性系统。由奈奎斯特稳定判据知,对于上述线性系统,在系统开环稳定的情况下,如果 $G(j\omega)$ 轨迹包围复平面上点 $(-1, j0)$,则系统是不稳

定的;如果不包围,则系统是稳定的(见奈奎斯特稳定判据)。为了判别非线性系统是否稳定,根据式(1)应以 $-1/Ne(A)$ 来代替线性系统的 $(-1, j0)$ 。因此,对于非线性系统有:若 $G(j\omega)$ 轨迹不包围 $-1/Ne(A)$,则系统是稳定的;若 $G(j\omega)$ 轨迹包围 $-1/Ne(A)$,则系统是不稳定的;若 $G(j\omega)$ 和 $-1/Ne(A)$ 有交点,则系统的输出可能为持续振荡。最后一种情况如图2(b)所示,还要作进一步的分析如下。

图2(b)上 $G(j\omega)$ 与 $-1/Ne(A)$ 有两个交点 P 和 Q 。根据 $G(j\omega)$ 可确定交点处的振荡频率 ω ,根据 $-1/Ne(A)$ 可确定交点处的振幅 A ,自激振荡的频率和振幅是固定的,它在相平面中的轨迹是孤立的环,这就是极限环。对于现在所讨论的问题, P 点对应于不稳定极限环, Q 点对应于稳定极限环。

设系统原在点 P 工作,振荡的频率为 ω_P ,据幅为 A_P 。若施加小干扰,使工作点从 P 移到点 C ,则根据奈奎斯特稳定判据,点 C 被 $G(j\omega)$ 包围,对应于不稳定情况,振幅将继续增加,一直到点 Q 为止。若施加小干扰,使工作点从 P 移到点 D ,则可类似地判明振幅将继续减小直至零。因此,工作点一经离开点 P 就不能再回去,点 P 是不能稳定工作的。

同理,可判明 Q 点能够稳定工作。

(童建中 于 渤)

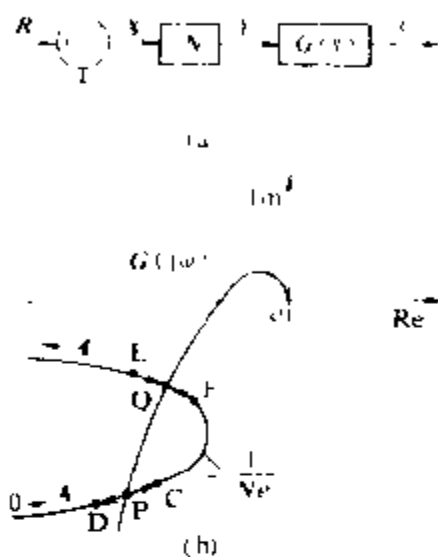


图2 非线性控制系统稳定性分析

(a) 系统框图; (b) 稳定性分析

moni chengfaqi

模拟乘法器 (analog multiplier) 实现两个模拟电压瞬时值相乘的集成电路,又称模拟相乘器。



图1 对数反对数式模拟乘法器方框图

例如,要实现 $z = xy$ 的运算,有多种方案,但主要有二种:一是由对数放大电路、加法器和反对数放大电路组成;二是采用变跨导式模拟乘法器。

模拟乘法器除应用于两数相乘外,还用于调制、鉴相等电路中。

对数反对数式模拟乘法器 将 $z = xy$ 式两边取对数得 $\ln z = \ln x + \ln y$,再取反对数得 $z = \ln^{-1}(\ln x +$

$\ln y$), 由此可画出方框图如图 1 所示。 K 为乘法器的增益系数。

变跨导式模拟乘法器 电路如图 2(a) 所示。在理想情况下, 差分对管 $V1$ 、 $V2$ 可看作是参数完全相同的二个管子, 因此可写出:

$$i_y = I_{EE} = i_{F1} + i_{F2} = I_e e^{\frac{u_{BE1}}{U_T}} + I_e e^{\frac{u_{BE2}}{U_T}} \quad (1)$$

$$u_x = u_{BE1} - u_{BE2} \quad (2)$$

联解式 (1) 式 (2) 得:

$$I_{EE} = I_{E1} \left(1 + e^{\frac{u_x}{U_T}} \right)$$

$$I_{E1} = \frac{I_{EE}}{1 + e^{\frac{u_x}{U_T}}} \approx x I_{EE} \quad (3)$$

故

$$\text{同理 } I_{E2} \approx \frac{I_{EE}}{1 + e^{\frac{u_x}{U_T}}} \approx (1 - x) I_{EE} \quad (4)$$

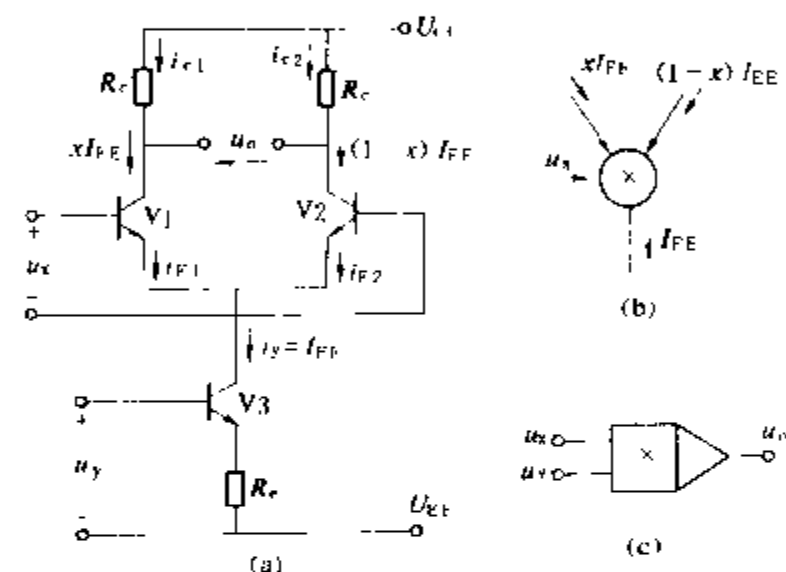


图 2 变跨导式模拟乘法器

(a) 电路图; (b) 压控分流器符号; (c) 模拟乘法器符号

可见: 差分对管 $V1$ 、 $V2$ 可看成是一个压控分流器, 如图 2(b) 所示。

因 $\alpha \approx 1$, 且 $i_{c1} - i_{c2} = \alpha I_{E1} - \alpha I_{E2}$

$$\approx I_{EE} \left(\frac{1}{1 + e^{\frac{u_x}{U_T}}} - \frac{1}{1 + e^{\frac{u_x}{U_T}}} \right)$$

$$= I_{EE} \tanh \frac{u_x}{2U_T} \quad (5)$$

$$\text{当 } u_x \ll 2U_T \text{ 时, 则 } i_{c1} - i_{c2} \approx I_{EE} \frac{u_x}{2U_T} \quad (6)$$

当 $u_y \gg U_{BE3}$ 时, 则 $I_{EE} \approx \frac{u_y}{R_c}$, 代入式 (6) 得

$$i_{c1} - i_{c2} = \frac{1}{2R_c U_T} U_x U_y$$

模拟乘法器的输出电压 u_o 为

$$u_o = R_c (i_{c1} - i_{c2}) = \frac{R_c}{2R_c U_T} u_x u_y = K u_x u_y \quad (7)$$

式中 $K = \frac{R_c}{2R_c U_T}$ 。由以上分析可得结论如下:

(1) 当 $u_x \ll 2U_T$ 且 $u_y \gg U_{BE3}$ 时, 可实现两模拟电压瞬时值相乘。但是, 两个输入电压 u_x 和 u_y 的动态范围

太小。

(2) 因增益系数 K 包含 U_T , 故与温度有关, 将引起温漂。

(3) u_x 的极性可正可负; 而 u_y 的极性只能上正下负, 否则 $V3$ 将截止。故图 2(a) 电路又称两象限变跨导乘法器。

模拟乘法器的符号如图 2(c) 所示。

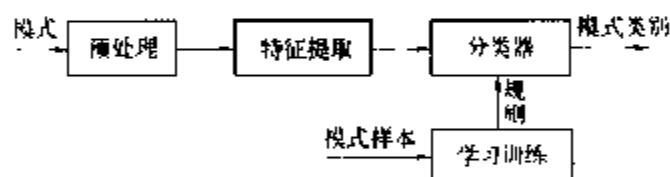
(何金茂)

moshi shibie

模式识别 (pattern recognition) 研究模式鉴别和分类方法的信息处理学科。模式包括客观存在的物体或事件, 也可以包括主观上的心理状态或现象。由于处理过程离不开数字计算机, 因此常称为计算机模式识别或数字模式识别。

模式识别一词原先属于认知科学中描述人们感知事物的一种过程。在 20 世纪 50 年代, 有人利用计算机技术进行感知机方面的研究。60 年代中, 由于航天遥感技术的出现, 大量的遥感图象信息的计算机自动处理刺激了模式识别技术的发展, 并在国防、科研、生物医学方面得到成功的应用。到 70 年代, 模式识别已在理论上和技术上逐步发展成为独立完整的体系, 成为计算机科学的前沿学科之一。

模式识别的基本任务是用数学方法把未知模式归属到已知类别中去。一般方法如图所示。其中: 预处理



模式识别过程

模块对输入的模式进行滤波、校正和特征增强; 特征提取模块对模式进行信息压缩, 抽取表征该类模式特点的特征信息; 学习训练模块的功能是从输入的已知模式样本中归纳出分类规则; 在分类规则指导下分类器对模式特征进行分类推理, 从而确定模式的类别作为系统的输出。

分类 按特征的表达方法, 模式识别技术可分为判决理论法和结构法两大类:

(1) 判决理论法。用一组数值来表达每个模式的特征值。不同的模式根据特征值的不同, 在特征空间中分布在不同的区域中。利用数学方法对该空间进行区域划分, 就可获得分类规则。通常特征值可看成随机变量。特征空间的划分采用数理统计方法, 这种方法称为统计模式识别。

(2) 结构法。把待识目标按其构成分割成最小基本

单元(称为元素),并用字符串来代替元素及元素间的关系。这种字符串的模式描述颇类似英语句子,因而可采用形式语言理论的研究方法。同类模式“句子”由于结构相同而可用同种文法表示,称为模式文法。这样,分类判别过程就变为用类别的模式文法对输入模式句子作文法分析的过程,这种方法又称为句法模式识别。在句法模式识别中,对文法进行开拓使之能表达二维或多维关系,于是就出现了树文法、图文法、丛文法等等。

相关学科 ①数字图象处理:利用计算机对数字化的图象进行加工的技术。②计算机视觉:用计算机分析视觉信息,从而达到描述、理解图象含义的学科。最典型的事例是从二维平面图象中解释出三维深度的信息。③人工神经网络:利用相对简单的计算单元按一定的方式相互连接成复杂的网络。通过样本训练来改进各单元的计算功能(参数),从而使整个网络输入输出之间实现特定的计算功能。该网络类似于生物神经网络,工作过程近似于平行处理,并有学习功能。特别适合于感知识别方面的任务。

应用领域 ①图象识别:从图象中发现和识别目标。图象也可包括非视觉信息,如红外线、超声波图象等。一些典型的应用有卫星遥感图片的地质资源分析、作物收成估计、环境监护;军事上有目标侦察、飞行器制导;医学上的细胞识别、CT成像;工业上的产品质量检验、机器人视觉等。此外在刑侦方面有指纹分析、印章鉴别等应用。②语音文字识别:对输入文字、语音进行自动编码、存贮(不包括对其理解)。目前对限制范围内的语音识别已达到较满意的结果。标准印刷字符(包括中、英文)识别已有较成功的方法。手写体汉字识别难度较大。但在线手写体汉字识别上已有一定的进展。③系统工程:模式识别是先通过学习训练建立模型,然后进行识别判决的工作过程。它提供了一种自适应、自学习系统的信息处理方法。这种方法已被用于人口预测、交通管理和工业过程控制等系统工程领域中。

(朱森良)

moshu zhuanhuanqi

模数转换器 (analog-to-digital converter)

能将模拟量转换成数字量的器件,简称ADC或A/D。模数转换器是利用数字系统分析、处理、控制模拟信号的桥梁。被分析处理的对象一般多为物理量,如温度、压力、位移、速度等。因此,它在需要应用数字技术和计算机技术对模拟信息进行分析、处理和控制的各个领域中得到广泛应用。

模数转换方法和结构形式很多,按转换方式分主要有并行比较式、逐位逼近转换式和积分转换式三种。

并行比较式模数转换器 图1为二位并行比较式

模数转换器电路。这种转换方式比较简单,类似于日常生活中用尺量布,量的是布,读的是尺数。一般由比较器、编码器和电阻网络组成。 n 位数码需要用 2^n-1 个比较器, 2^n 个电阻。输入模拟信号电压 U_i 同时送到各比较器N的同相端,各比较器的基准参考电压由 U_R 经电阻网络分压供给, 2^n 个电阻可分为 2^n-1 个不等的电压值,分别送到各比较器的反相端。当 U_i 在某量值区间时,则此量值以下的比较器输出为1,其余的输出为0,经译码器转换为二进制代码。图1中 U_i 与 x_2 、 x_1 、 x_0 和 D_1 、 D_0 的关系如表所示。这种转换方式的优点是电路简单,转换速度快。但当位数多时需要的电阻数亦多,集成化工艺困难,故只适用于要求转换速度高、输出位数少的场合。

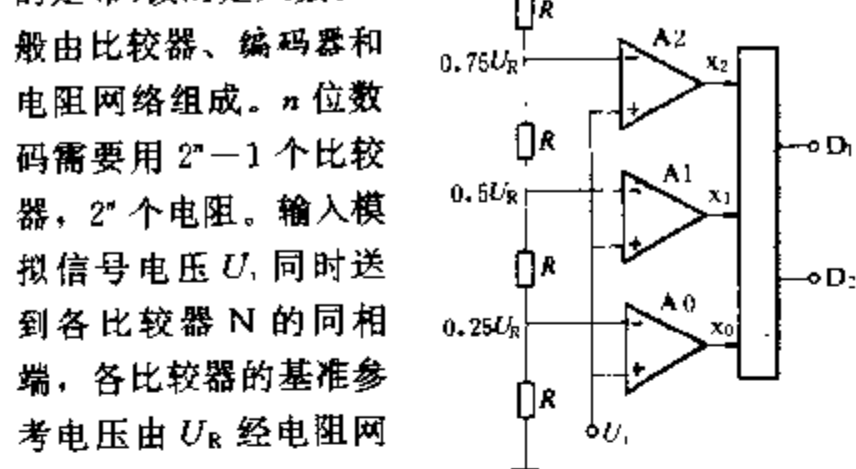


图1 并行比较式模数转换器原理电路

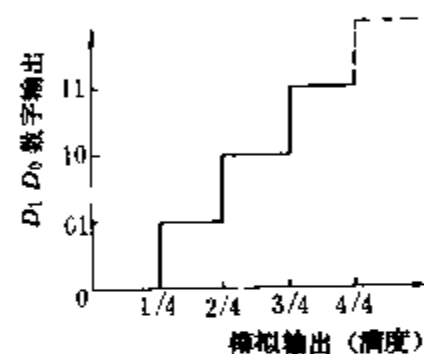


图2 模数转换传输特性

当 U_i 在某量值区间时,则此量值以下的比较器输出为1,其余的输出为0,经译码器转换为二进制代码。图1中 U_i 与 x_2 、 x_1 、 x_0 和 D_1 、 D_0 的关系如表所示。这种转换方式的优点是电路简单,转换速度快。但当位数多时需要的电阻数亦多,集成化工艺困难,故只适用于要求转换速度高、输出位数少的场合。

模拟量与数字量关系

模拟输入	比较器输出			数字输出	
U_i	x_2	x_1	x_0	D_1	D_0
$(0 \sim 0.25)U_R$	0	0	0	0	0
$(0.25 \sim 0.5)U_R$	0	0	1	0	1
$(0.5 \sim 0.75)U_R$	0	1	1	1	0
$(0.75 \sim 1)U_R$	1	1	1	1	1

逐位逼近转换式模数转换器 这种方式类似于用天平称物,用 n 个砝码与物体逐次进行比较,一直达到平衡为止。砝码即为物体的重量。一般由比较器、逐位逼近寄存器和数模转换器组成。图3为其原理框图,比较器N对输入模拟电压 U_i 与经数模转换器的输出电压 U_A 进行比较,数模转换器输出按时钟节拍从高位到低位逐次设定逼近,直至二者差别小于最低

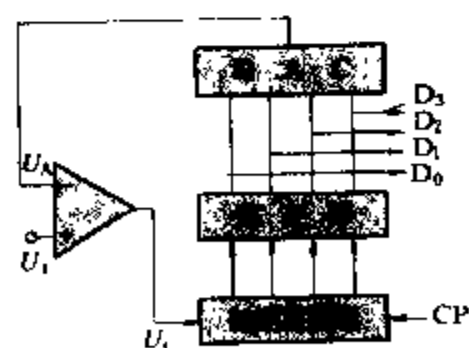


图3 逐位逼近式模数转换器原理框图

位置值,此时设定的数字量即等于模拟量 U_i 。这种转换方式有较高的转换精度和速度,目前集成 ADC 产品采用这种方式较多。

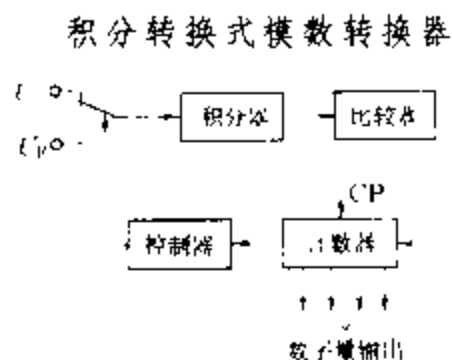


图4 积分式模数转换器原理框图

这种方式类似于用指针式磅秤称物。一般由积分器、比较器、计数器、时钟发生器和控制电路构成。这种转换方式对 U_i 不是针对其某一点的值进行转换,而是对 U_i 在一段时间内的值进行

比较转换,所以能很好地抑制瞬间干扰。它具有抗干扰能力强、精度高、转换速度慢的特点,原理框图如图4所示。

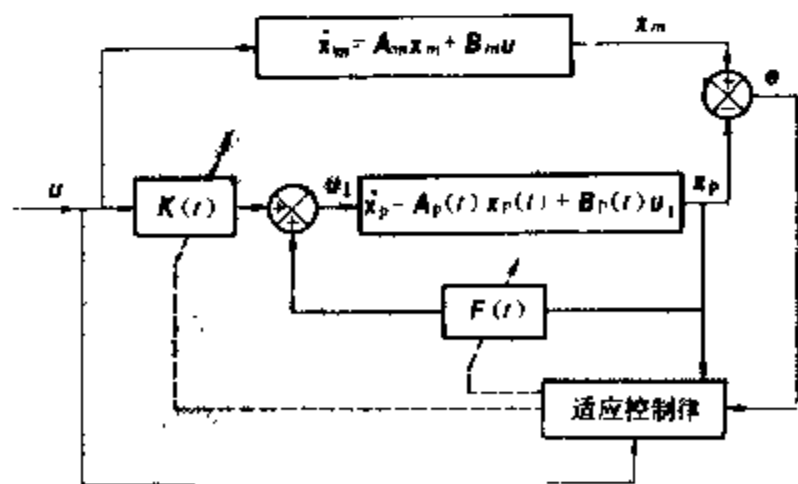
(唐泽荷)

moxing cankao shiyong kongzhi xitong

模型参考适应控制系统 (model reference adaptive control system)

通过一定的适应控制律,对调节器的参数进行调整,使被控对象输出与优化的参考模型的输出之间的偏差逐步减小的适应控制系统。模型参考适应控制,最初由伟狄基(Whitaker)于1958年提出,并用参数最优化理论导出了适应控制律的算法。这一方法的最大缺点是不能确保所设计的适应系统是全局渐近稳定的。因此,1966年P.C. 派克(P.C. Parks)提出了用李雅普诺夫稳定性理论来设计模型参考自适应控制系统。这一设计方法的基本思想是选择合适的李雅普诺夫函数,以保证系统的全局稳定性,从而也求得了适应控制律。下面讨论用李雅普诺夫稳定性理论来求取模型参考适应控制律的设计方法。

模型参考适应控制系统的结构,如图所示。其中被控对象是结构已知、参数未知的线性系统,它的状态方程式为



模型参考适应控制

$$\dot{x}_p = A_p(t)x_p + B_p(t)u_1 \quad (1)$$

$$u_1 = K(t)u + F(t)x_p \quad (2)$$

将式(2)代入式(1),得

$$\begin{aligned} \dot{x}_p &= A_p(t)x_p + B_p(t)[K(t)u + F(t)x_p] \\ &= [A_p(t) + B_p(t)F(t)]x_p + B_p(t)K(t)u \end{aligned} \quad (3)$$

式中 x_p 、 u 相应地为被控对象的 n 维状态向量和 p 维的输入向量; $A_p(t)$ 为 $n \times n$ 维矩阵; $B_p(t)$ 为 $n \times p$ 维矩阵。矩阵的元素 a_{pi} 和 b_{pi} 是受干扰影响的时变参数。通常被控对象的参数是不便于直接调整的,因此,为了补偿被控对象参数的变化,引进可调的前馈增益矩阵 $K(t)$ 和反馈补偿矩阵 $F(t)$ 。

给定一个参考模型,它对输入 u 的响应代表被控对象所期望的响应。设参考模型的状态方程为

$$\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u \quad (4)$$

其中 A_m 为 $n \times n$ 维常数矩阵, B_m 为 $n \times p$ 维常数矩阵。

系统的广义状态误差向量为

$$e = x_m - x_p \quad (5)$$

由式(5)可得

$$\dot{e} = \dot{x}_m - \dot{x}_p$$

将式(3)和式(4)代入上式中,得

$$\begin{aligned} \dot{e} &= A_m e + [A_m - A_p(t) - B_p(t)F(t)]x_p \\ &\quad + [B_m - B_p(t)K(t)]u \end{aligned} \quad (6)$$

为了使被控对象对输入 u 的响应与参考模型对输入 u 的响应相一致,适应控制律对 $K(t)$ 和 $F(t)$ 进行调整,使被控对象与参考模型相匹配,即 $A_m = A_p(t) + B_p(t)F^*$, $B_m = B_p(t)K^*$, 则式(6)可改写为

$$\begin{aligned} \dot{e} &= A_m e + B_m(K^*)^{-1}[F^* - F]x_p \\ &\quad + B_m(K^*)^{-1}[K^* - K]u \\ &= A_m e + B_m(K^*)^{-1}\tilde{F}x_p + B_m(K^*)^{-1}\tilde{K}u \end{aligned} \quad (7)$$

式中 $\tilde{F} = F^* - F$ 为 $p \times n$ 维矩阵; $\tilde{K} = K^* - K$ 为 $p \times p$ 维矩阵。

选择一个李雅普诺夫函数 V , 即

$$V = \frac{1}{2}[e^T P e + \text{tr}(\tilde{F}^T \Gamma_1^{-1} \tilde{F} + \tilde{K}^T \Gamma_2^{-1} \tilde{K})] \quad (8)$$

其中 P 、 Γ_1^{-1} 、 Γ_2^{-1} 都是对称正定矩阵,故 $V > 0$ 。

由李雅普诺夫第二方法,可得适应控制律为

$$\dot{\tilde{F}} = \Gamma_1 [B_m(K^*)^{-1}]^T P e x_p^T \quad (9)$$

$$\dot{\tilde{K}} = \Gamma_2 [B_m(K^*)^{-1}]^T P e u^T \quad (10)$$

这样确定的 $\dot{\tilde{F}}$ 和 $\dot{\tilde{K}}$ 参数调整的适应控制律,对任意分段连续的输入向量 u ,能保证模型参考适应系统是全局稳定的。

模型参考适应控制系统的设计方法,还有B.M.波波夫(B.M. Попов)提出的超稳定性理论的设计方法。

(蒋静坪)

N

NMOS jicheng luojimen

NMOS 集成逻辑门 (NMOS integrated logic gate) 全部使用 N 沟道 MOS 管集成的门电路, 又称 NMOS 集或门。NMOS 集成逻辑门工作速度比 PMOS 集成逻辑门要快, 它在电子计算机中得到广泛应用。

一个 NMOS 反相器(非门)的电路如图 1 所示。其中 V1 为驱动管, V2 为负载管, 它们都是 N 沟道管。电源电压 $U_{DD} = +12\text{ V}$, U_{V1} 和 U_{V2} 分别为 V1 和 V2 的开启电压(约等于 $+4\text{ V}$)。

在 NMOS 集或电路中, 一般按正逻辑规定: 高电平为 1, 低电平为 0。

在图 1 中, 当 $U_i < U_{V1}$ 时(输入低电平), V1 管因输入电压小于它的开启电压 U_{V1} 而截止, V2 管因 $U_{G2} = +U_{DD}$ 大于它的开启电压而开启, 所以输出高电平 $U_{OH} = U_{DD} - U_{T2} (\approx 8\text{ V})$ 。

当 $U_i > U_{V1}$ 时(输入高电平), V1 管和 V2 管均导通, 输出低电平 $U_{OL} = \frac{R_{ON1}}{R_{ON1} + R_{ON2}} U_{DD}$

式中 R_{ON1} 和 R_{ON2} 分别为 V1 和 V2 的漏源导通电阻。一般 $R_{ON1} \ll R_{ON2}$, 故 $U_{OL} \approx 1\text{ V}$ 。

由上可知, 该电路是一个反相器(非门)。

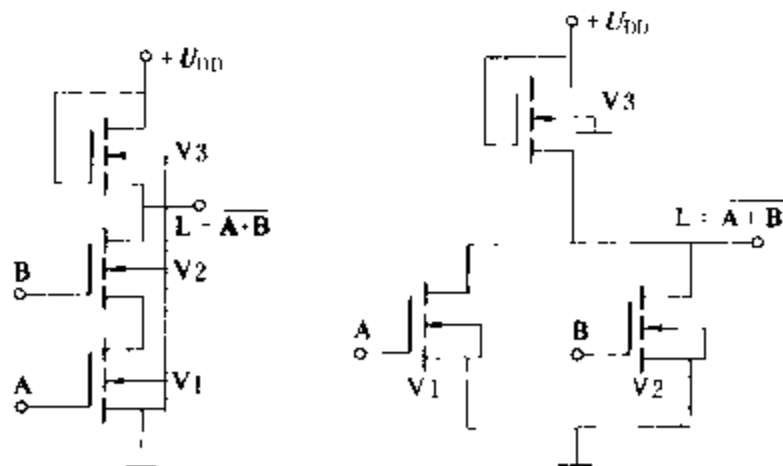


图 2 NMOS 与非门 (正逻辑)

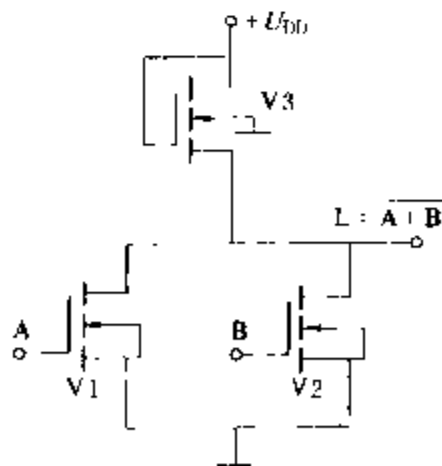


图 3 NMOS 或非门 (正逻辑)

对图 2 来说, 可证明其输出的逻辑表达式为 $L = A \cdot B$ (正逻辑的与非门)。

对图 3 来说, 可证明其输出的逻辑表达式为 $L = A + B$ (正逻辑的或非门)。

此外, NMOS 逻辑门尚有与或非门、异或门和三态输出门等。

(汤之璋)

Narkuisitetu

奈奎斯特图 (Nyquist diagram) 当频率 ω 由零变到无穷大时, 向量 $G(j\omega)$ 端点在极坐标纸上的轨迹, 又称为极坐标图。在奈奎斯特图上, 每一点都可用幅值 $|G(j\omega)|$ 和相角 $\angle G(j\omega)$ 表示, $G(j\omega)$ 向量在实轴和虚轴上的投影就分别是 $G(j\omega)$ 的实部和虚部。奈奎斯特图用于控制系统的分析和设计。

绘制极坐标图可以有两种方法: ①根据相应的伯德图数据绘制; ②对于若干个频率值直接计算幅值 $|G(j\omega)|$ 和相角 $\angle G(j\omega)$, 据以绘制。

极坐标图的优点是: 可在一张图上描绘出整个频率域的频率响应曲线。不足之处是: 不能明显地表示出开环传递函数中每个因子的作用。

基本因子的极坐标图如下。

(1) 常数因子 K : $G(j\omega) = K \angle 0^\circ$, 其极坐标图是实轴上坐标为 K 的点, 见图 1。

图 1 因子 K 和 $(j\omega)^{\pm 1}$ 的极坐标图

(2) 积分和微分因子 $(j\omega)^{\pm 1}$: $(j\omega)^{-1}$ 是积分因子, $G(j\omega) = 1/j\omega = \frac{1}{\omega} \angle -90^\circ$, 极坐标图是整个负虚轴。 $j\omega$ 是微分因子, $G(j\omega) = j\omega = \omega \angle 90^\circ$, 极坐标图是整个正虚轴, 见图 1。

图 2 因子 $(1+j\omega T)^{\pm 1}$ 的极坐标图

(3) 一阶因子 $(1+j\omega T)^{\pm 1}$: 对于 $(1+j\omega T)^{-1}$ 因子, $G(j\omega) = 1/(1+j\omega T) = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}} \angle -\arctan \omega T$, 极坐标图是一半圆, 圆心在实轴上 0.5 处, 半径为 0.5。对于 $(1$

$+j\omega T$) 因子, $G(j\omega) = 1 + j\omega T = \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \angle \arctan \omega T$,

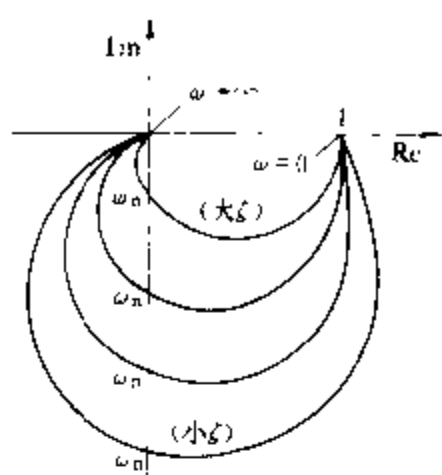


图3 $[1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]^{-1} (\zeta > 0)$ 的极坐标图

极坐标图是复平面上第一象限内通过点 $(1, j0)$, 且平行于虚轴的直线。见图2。

(4) 二阶因子 $[1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]^{-1}$; 对于正弦传递函数 $G(j\omega) = [1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]^{-1} (\zeta > 0)$, 极坐标图如图3所示, 极坐标图的低频和高频部分分别为

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} G(j\omega) = 1 \angle 0^\circ$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} G(j\omega) = 0 \angle -180^\circ$$

对于正弦传递函数 $G(j\omega) = [1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]^{-1} (\zeta > 0)$, 极坐标图如图4所示, 极坐标图的低频和高频部分分别为

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} G(j\omega) = 1 \angle 0^\circ,$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} G(j\omega) = \infty \angle 180^\circ$$

(5) 传递延迟 $e^{-j\omega T}$; $G(j\omega) = e^{-j\omega T} = \cos \omega T - j \sin \omega T = 1 \angle -\omega T$, 极坐标图为单位圆, 见图5。

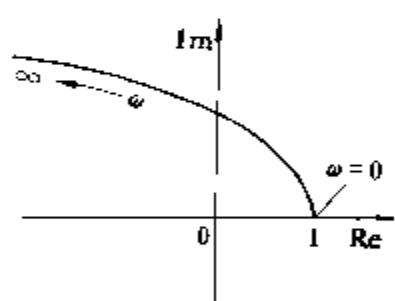


图4 $[1 + 2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega)^2/\omega_n^2]^{-1} (\zeta > 0)$ 的极坐标图

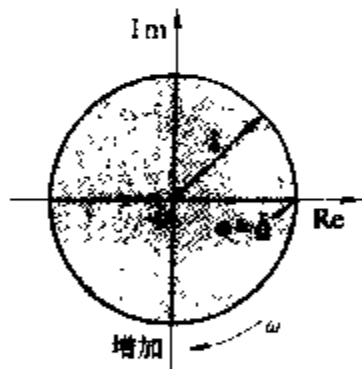


图5 传递延迟的极坐标图

对于任何一个控制系统, 当知道了它的开环传递函数以后, 都可以作出相应的开环频率特性极坐标图, 并据以分析闭环系统的性能。绘制极坐标图时, 在复平面上点 $(-1, j0)$ 附近范围内, 极坐标图要作得准确些, 因为这一范围对于分析闭环系统的性能是十分关键的。

(钱源平)

Naikuisite wending panju

奈奎斯特稳定判据 (Nyquist stability criterion) 采用图解分析方法, 通过开环系统频

率特性奈奎斯特图(极坐标图)判断相应的闭环系统稳定性的判据。

判据的表述 如果线性定常控制系统开环传递函数 $G(s)H(s)$ 在右半 s 平面上有 P 个极点, 则当 ω 从 $-\infty$ 变化到 $+\infty$ 时, 若开环频率特性 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的轨迹(即奈奎斯特图)逆时针包围复平面上 $(-1, j0)$ 点 P 次, 则相应的闭环系统是稳定的, 否则就是不稳定的。

通常, $G(s)H(s)$ 的分母多项式的次数总是高于分子多项式的次数, $\lim_{s \rightarrow \infty} G(s)H(s) = 0$ 。

判据的运用可以归结为对下式作检验

$$Z = N + P$$

式中 Z 为闭环特征方程式 $1 + G(s)H(s) = 0$ 在右半 s 平面根的数目, 即在右半 s 平面上的闭环极点数; N 为当 ω 从 $-\infty$ 变化到 $+\infty$ 时, 开环频率特性 $G(j\omega) \times H(j\omega)$ 的轨迹包围复平面上 $(-1, j0)$ 点的次数, 顺时针方向包围时为正, 逆时针方向包围时为负; P 为开环传递函数 $G(s)H(s)$ 在右半 s 平面上的极点数。

如果闭环系统是稳定的, 则必须有 $Z = 0$, 这时 $N = -P$ 。这意指, 若开环传递函数在右半 s 平面有 P 个极点, 则闭环系统稳定的充分必要条件是, 当 ω 从 $-\infty$ 变化到 $+\infty$ 时, $G(j\omega)H(j\omega)$ 的轨迹必须逆时针包围复平面上 $(-1, j0)$ 点 P 次。很多线性定常控制系统是开环稳定的, 即 $P = 0$, 则闭环系统稳定的充分必要条件是 $N = 0$ 。换言之, 一个开环稳定的系统, 如果其频率特性 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的轨迹不包围复平面上 $(-1, j0)$ 点, 则系统闭环运行是稳定的, 否则是不稳定的。

极坐标图上 $G(-j\omega)H(-j\omega)$ 和 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的轨迹对于实轴是对称的, 所以作图时只需取 ω 从 0 变化到 $+\infty$ 就可以了, ω 从 0 变化到 $-\infty$ 的轨迹可对称地画出。

应用判据的步骤

(1) 求出线性定常控制系统开环传递函数 $G(s) \times H(s)$ 。

(2) 在极坐标图上作出当 ω 从 0 变化到 $+\infty$ 时 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的轨迹, 并对称地作出当 ω 从 0 变化到 $-\infty$ 时的轨迹。

(3) 分几种情况讨论闭环系统的稳定性:

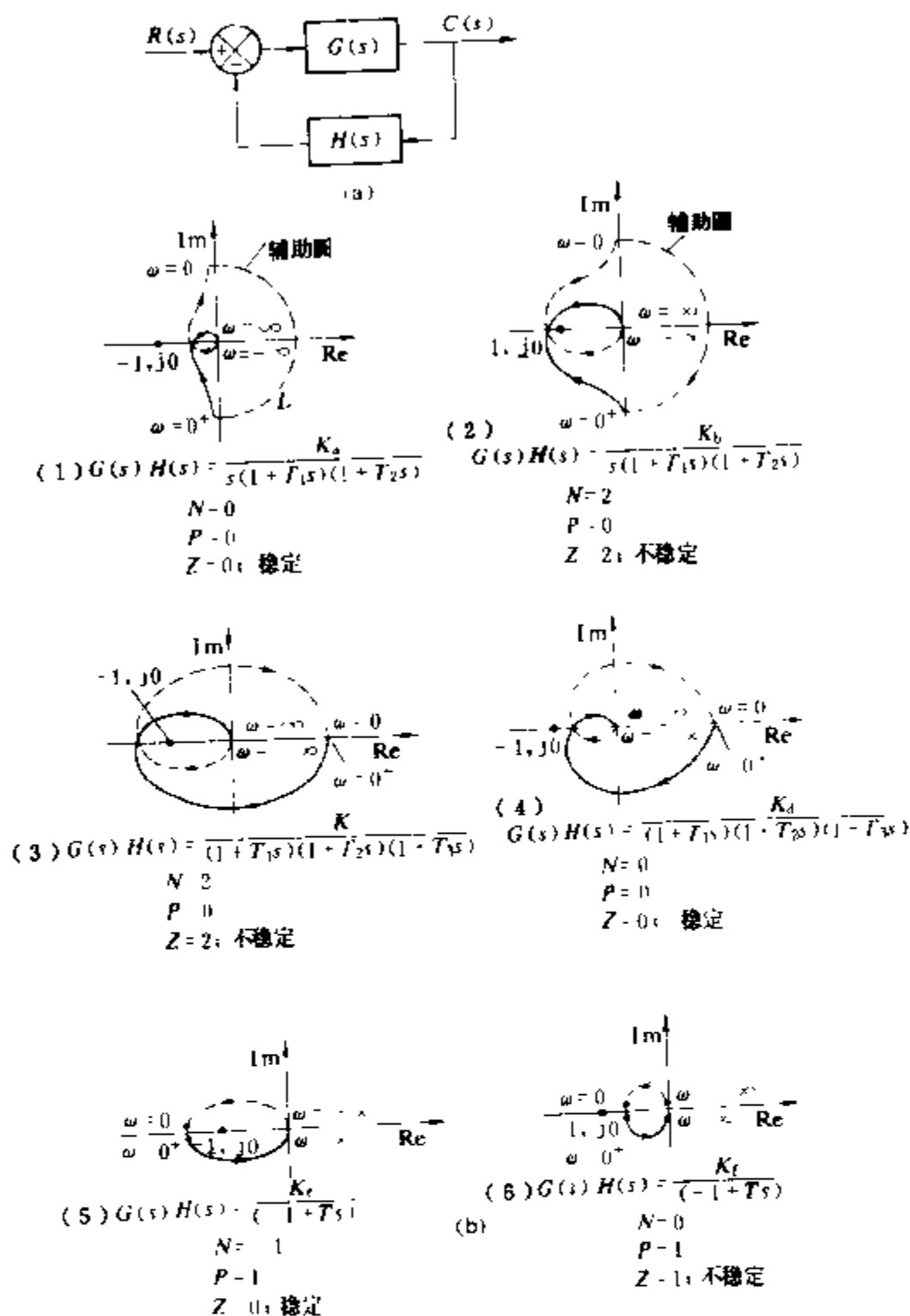
1) 轨迹不包围复平面上 $(-1, j0)$ 点, 若 $P = 0$ (即开环稳定), 则闭环系统是稳定的, 否则是不稳定的;

2) 逆时针包围复平面上 $(-1, j0)$ 点, 若包围的圈数等于 P , 则闭环系统是稳定的, 否则是不稳定的;

3) 顺时针包围复平面上 $(-1, j0)$ 点, 闭环系统是不稳定的;

4) 如果 $G(s)H(s)$ 形式上是开环稳定的 ($P = 0$),

但实际上在右半s平面有相同数目的零点和极点相抵消,则闭环系统是不稳定的。



奈奎斯特稳定判据的应用举例

(a) 控制系统框图; (b) 应用奈奎斯特判据的例子

应用奈奎斯特稳定判据的实例如图所示。

奈奎斯特稳定判据得到了广泛的应用,其原因是:
①只要研究开环频率特性,而无需具体地确定闭环极点;
②由分析方法或实验方法所获得的开环频率响应曲线,都可以用来进行稳定性的分析,而在设计控制系统时,一些环节的数学模型往往是未知的,仅有其频率响应曲线可资利用;
③不仅可以判断系统是否稳定,而且能表示出系统稳定的程度,还能指出应如何改进系统的稳定性;
④可以研究具有时间延滞的系统。

(钱源平)

naidianhen shiyan

耐电痕试验 (track resistance test)

决

定绝缘材料耐受表面漏电流面不起痕的能力的试验。耐电痕试验是一种人工加速试验。它模拟非常严重的

环境污染,加速电痕的形成,从而能在较短时间内鉴定面体绝缘材料表面的耐电痕能力,也就是固体绝缘材料表面能离解的污物在电场作用下耐受由于局部放电在材料表面形成积累的导电通道的能力。绝缘材料的耐电痕能力,用相比起痕指数来表征。

相比起痕指数的测量 在安装于试样表面的电极间施加电压 (<600 V),并在其间滴电解液 (图1),测定所施加的电压与材料失效即形成电痕所需的液滴数的关系曲线。试样能承受50滴电解液时施加的电压即为相比起痕指数。

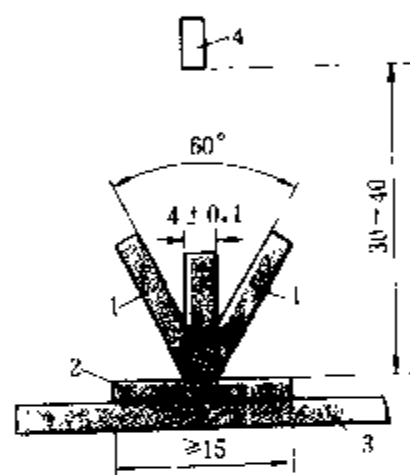


图1 电极装置

1—电极; 2—试样; 3—支架; 4—滴液装置

试验线路如图2所示。

试样 直径50 mm或100 mm的圆板,厚度最小25 mm,试验前应清除灰尘与油污,并作预处理。每次试验最少5个。

铂电极 5 mm × 2 mm 长方形截面,长最少20 mm,装在合适的柄上。一端削成30°角。电极的安装见图1。

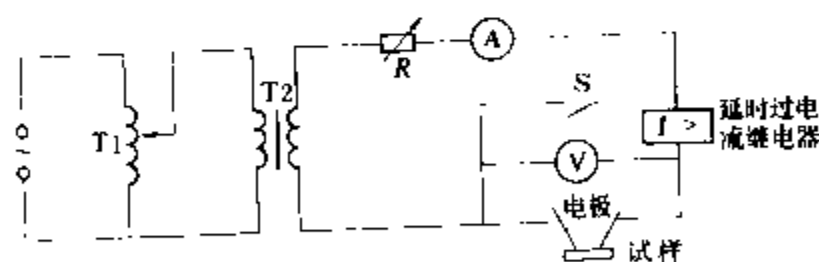


图2 试验线路

T1—调压器; T2—试验变压器; S—开关

电解液与滴液装置 可用氯化铵的蒸馏水或去离子水溶液作电解液,其浓度为 (0.1 ± 0.002)% (质量比),在 23 ± 1℃ 下的电阻率为 3.95 ± 0.05 Ω · m。电解液应相隔 30 ± 1 s 从 30 ~ 40 mm 高度滴落于电极中

央。液滴大小为 $20 \pm 5.0 \text{ mm}^3$ 。

(刘耀南)

naidianhu shiyan

耐电弧试验 (test for arc resistance) 测

试固体绝缘材料表面耐受电弧能力的试验。耐电弧试验的目的是判断材料耐受电弧的性能。电器中发生的电弧可以有高压小电流或大电流、低压大电流或小电流电弧等。试验方法应按实际情况制订。

高压小电流耐电弧试验原理 材料的耐电弧性是耐热性的特种形式。当材料表面发生电弧时,在材料的表面会产生导电层,最终形成导电通道,致使电弧熄灭。通常材料表面形成导电层所需的电流愈大,或所需的时间愈长,则表明这种材料的耐电弧性愈高。试验时将试样置于两电极间,在两电极上加电压,使沿材料表面产生规定的电弧电流,促使材料表面形成导电层,直至电弧熄灭。由所经历的时间来判断其耐电弧性。

试样与电极 采用厚度为 3 mm 的平板试样和直径 2.4 mm、长约 20 mm 的钨棒电极。试样应擦净,并作预处理。电极端面应磨出与轴线或 $30^\circ \pm 1^\circ$ 的椭圆。装配后电极尖端相距 $6.35 \pm 0.05 \text{ mm}$,并与水平面或 35° 倾角。每个电极有 $500 \pm 50 \text{ N}$ 的力作用在试样表面。整个电极装置放在有出风口的透明防风罩内。

(刘耀南)

naidianyun shiyan

耐电晕试验 (corona resistance test) 测

定绝缘材料在表面局部放电或电晕下承受电压耐久性的试验。即在试样上施加一定电压,在表面放电情况下,直至试样击穿的能力。

相比耐电晕性的测量原理 在试样上施加足够高的工频电压(超过起始放电电压),使试样表面产生局部放电,直到材料击穿。测定二种相同厚度的材料在相同电极形状与电压下的相对失效时间即为相比耐电晕性。材料的耐电晕性的比较也可用在规定时间下失效所加场强值表示,也可在三个或三个以上电压下求取失效时间,绘制场强—失效时间关系曲线。

试验线路 高压电源与工频击穿试验用的相同。每个试样应串联一个限流电阻和熔丝或熔断器,以便任一试样击穿时,其他试样继续进行试验,并触动失效时间指示装置。

试样与电极 试样为平板。上电极为直径 $6 \pm 0.3 \text{ mm}$ 不锈钢圆柱,边缘车成半径 1 mm 的圆角,重约 30 g。下电极为平板,其面积应大于上电极放电时所覆盖的面积。一块试样上可放置多个电极,极间应有足够的距离。

• 260 •

试验条件 试验前试样应作预处理。预处理条件可分低湿度和标准试验气氛。试验可在室温、低湿度 (23°C 、5%RH) 或标准条件 (23°C 、50%RH) 下进行。对每个试验电极空气气流至少为 0.5 L/min。在特殊情况下可在高温或其他媒质中进行试验。

(刘耀南)

naigaowen cailioo

耐高温材料 (high-temperature endurable materials)

通常指在 150°C 以上使用能保持其物理机械性能不变的材料。包括无机陶瓷材料,特殊结构的聚合物材料和有机与无机结合的复合材料。材料用于高温环境的情况取决于温度和时间两个因素。提高使用温度,相应地就会缩短使用寿命。耐高温聚合物材料是指能在 250°C 下长期使用、在 500°C 间歇使用、在 1000°C 以上短期使用的材料。

耐高温材料在喷气发动机、燃气轮机、核反应器和高温操作条件下的电气设备、光学仪器中都是不可缺少的材料,例如用于电气设备中的绝缘材料的耐热性就直接影响设备运行的可靠性、寿命、容量和体积。在长期耐高温方面,聚合物材料不如金属材料,但在短期耐高温方面,金属反不如聚合物。例如导弹与宇宙飞船等飞行器在返回地面时,其头锥部在几秒至几分钟内将经受 $11000 \sim 16700^\circ\text{C}$ 的高温,这时任何金属都将熔化,如采用聚合物材料,尽管外部温度高达一万度以上,聚合物外层熔融乃至分解,但由于聚合物的绝热性,在这样短时间里只有表面一层受到烧蚀,而飞行器的内部仍然完好如故。所以耐高温聚合物材料用作烧蚀材料、耐高温粘结剂、高温导线涂层材料和绝缘薄膜材料等引起了极大的重视。有机聚合物材料与金属材料 and 无机陶瓷材料相比,在高温环境下易于软化或者熔融,使物理机械性能变坏;也易于发生热分解、氧化降解而丧失使用性能。提高聚合物材料耐高温性的途径是含或带芳杂环骨架结构的聚合物、有机金属聚合物、有机硅聚合物、含氟聚合物等。采用有机物与无机填料如碳纤维、硼纤维、氧化铝纤维、磷酸盐纤维的复合,可以获得高耐热性、高强度的材料,以满足各种高性能和高功能的特殊产品的需要。例如美国 ICI 公司开发的聚醚酮 (Victrex) 是耐高温、结晶的热塑性树脂,加入 30% 的玻璃纤维进行复合,其热变形温度为 340°C ,主要用于航空、化学、电气和电子工业。

(谢大荣)

naiya shiyan

耐压试验 (voltage withstand tests) 按

规定的加压方式对电气设备或绝缘结构施加规定电压

以考验其耐受电压能力的试验。耐压试验是以试品不被击穿或闪络作为通过试验的主要判据。由于施加电压较高,在绝缘中某些地方会出现较高的电场强度致使绝缘有可能造成局部损伤,因此它是一种破坏性绝缘试验。

耐压试验的种类及施加电压水平,由被试产品或绝缘结构所处运行电压等级的绝缘配合来确定。它应该对运行中可能出现的过电压状态进行考核。由于试验只能是短时间的或者是次数有限的,因此试验水平必须高于过电压水平,以保证有足够的安全裕度。耐压试验按施加电压的种类可分为交流耐压试验,冲击耐压试验和直流耐压试验。

交流耐压试验 通常称为一分钟工频耐压试验,因为此项试验在多数情况下是采用 50Hz(某些国家用 60Hz)正弦交流电压,在规定的电压值下持续时间为一分钟。交流耐压试验按试验电压的取得方式有外施耐压试验和感应耐压试验两种。外施耐压试验是由试验变压器或其他装置提供试验电压,直接施加在与被试端子相连的全部金属电极上。感应耐压试验由于电压较高,为避免铁芯中的磁饱和,需采用频率高于工频的交流电压,施加电压的时间应按规定缩短。对电容量较大的试品也有采用频率很低的交流电压(例如 0.1 Hz),施加的电压值应有所增加。

冲击耐压试验 按冲击电压性质又可分为雷电冲击耐压试验和操作冲击耐压试验。雷电冲击耐压试验又有全波冲击和截波冲击两种。冲击耐压试验是为了考验设备耐受雷电波和操作波的能力。由于试验技术复杂,仅在型式试验或某些超高压重要设备的出厂试验中进行。冲击试验电压由冲击电压发生器提供,对于变压器类产品也可以采用向低压侧放电使高压侧感应出所需的操作波试验电压。

直流耐压试验 对直流设备或有直流分量的整流设备,必须用短时间直流耐压试验来考验绝缘强度。有些交流设备,例如电力电缆和发电机,由于电容值很大,采用直流耐压可使试验设备容量减小,适合于交接试验和运行设备的预防性试验。直流电压下绝缘中的电场分布和交流下是很不相同的,两种试验不能完全等效。直流耐压试验对发现贯穿性缺陷比较有效。

(王乃庆)

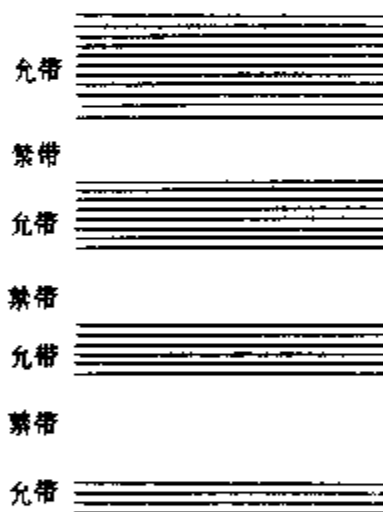
nengdai lilun

能带理论 (energy band theory) 用单电子近似方法研究固体中电子能谱的理论。它是在用量子力学研究物质的电导理论的过程中发展起来的。关于固体中电子能量状态的最早的理论是金属自由电子论。这种简单理论认为金属中价电子的运动,除去和

金属离子碰撞外,基本上是自由的。它较好地解释了金属所具有的良好导电性和导热性。但是这一理论没有考虑晶格周期性势场的作用,因而具有很大的局限性。它不能解释固体为什么分为导体、半导体和绝缘体。

实际上,晶体是由大量的原子组成,每个原子又包含原子核及许多电子,它们之间存在着相互作用,每一个电子的运动都受到原子核及其他电子的影响。要研究一个电子的运动,严格说来,必须写出这个包含大量原子核及电子的多体系统的薛定谔方程,并求出此方程的解。但是要求出其严格解是很困难的,通常采用单电子近似方法,把多体问题简化为单电子问题进行研究。这种近似方法包括两个步骤:第一步,假设晶体中的原子核固定不动,好象静止在各自的平衡位置上,把一个多体问题简化成一个多电子问题;第二步,假设每个电子是在固定的原子核的势场及其他电子的平均势场中运动,把多电子问题简化为单电子问题。用这种方法研究晶体中的电子运动,表明晶体中电子许可的能量状态,将不再是分立的能级,而是由在一定范围内准连续分布的能级组成的能带(称为允带)。两个相邻允带之间的区域称为禁带。能级被电子占满的能带称为满带。能级全空着,没有电

子占据的能带称为空带。被价电子占有的允带称为价带。由一个禁带隔开的两个邻近允带之间的最小能量差称为能隙。通常用价电子占据的满带及其上面的空带讨论物质导电情况。由于外界条件的作用,价带中的电子可跃迁到上面的空带中去,价带由满带变为不满带,空带中有了电子称为导带。图中所示为一个简单能带模型情况。



晶体的简单能带模型
示意图

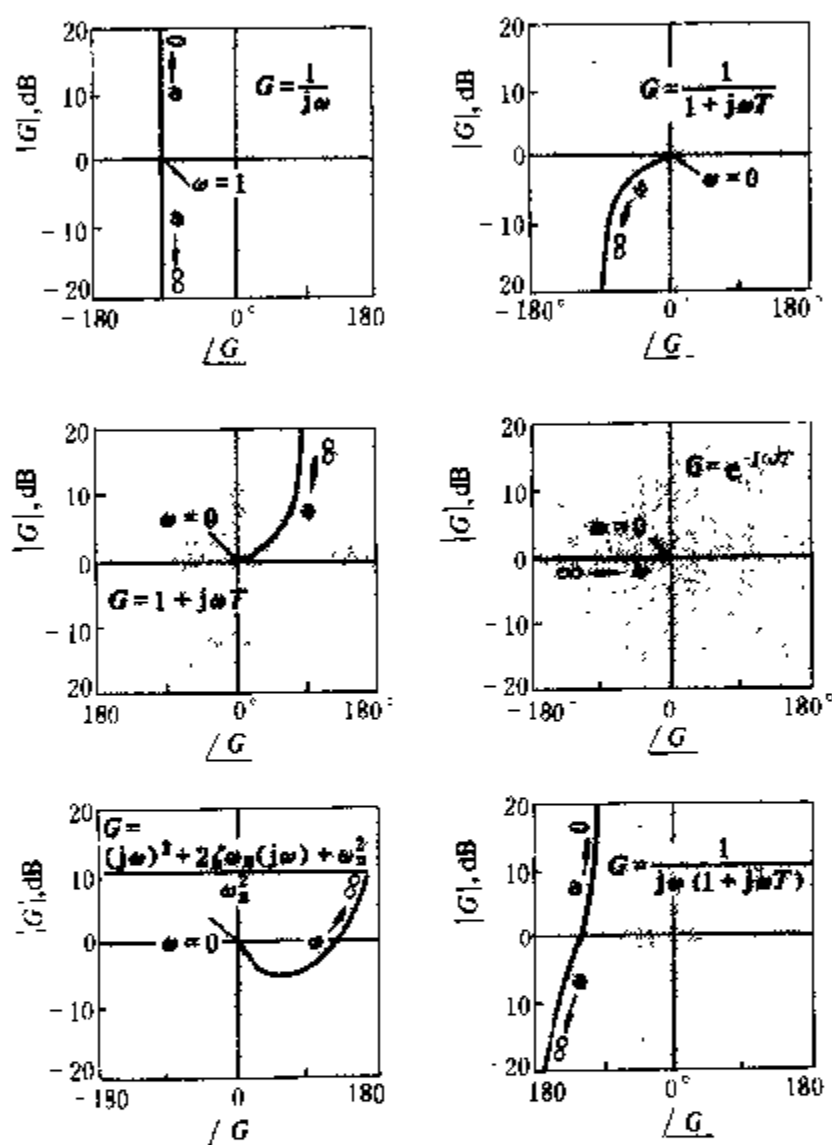
一种晶体的各个允许能带有一定的宽度,能量高的能带较宽,能量低的能带较窄,每一个能带里包含的能级数目等于晶体所包含的原胞数目。

能带理论成功地解释了金属、半导体和绝缘体之间的差别,以及正霍尔系数出现的原因。并且已广泛用于晶体特别是半导体的电学、光学和磁学性质的研究中,这一理论已成为固体电子理论的重要组成部分。但是必须指出,它终究是经过了若干简化以后的近似理论,也有其局限性,例如它不能解释金属—绝缘体转变现象,故需要进一步完善和发展。

(朱秉升)

Nikeersitu

尼科尔斯图 (Nichols diagram) 以频率 ω 为参变数, 在直角坐标纸上表示 $G(j\omega)$ 的对数幅值 (以分贝表示) 与相角的关系图, 也称为对数幅值-相位图, 简称对数幅-相图。尼科尔斯图用于控制系统的分析和设计。在伯德图上, 频率特性 $G(j\omega)$ 是在半对数坐标纸上用分开的两条曲线即对数幅值曲线和相角曲线表示的, 尼科尔斯图把伯德图的两条曲线合并为一条。所以, 尼科尔斯图可以很方便地根据伯德图上的数据绘制出来。



简单环节频率特性的对数幅-相图

频率特性 $G(j\omega)$ 和 $1/G(j\omega)$ 的对数幅-相图对于原点是斜对称的, 这是因为

$$20\lg \left| \frac{1}{G(j\omega)} \right| = -20\lg |G(j\omega)|$$

和

$$\angle \frac{1}{G(j\omega)} = -\angle G(j\omega)$$

一些简单环节频率特性的对数幅-相图如图所示。
(钱源平)

Nuodun dingli

诺顿定理 (Norton theorem) 把一个复杂的有源线性非时变二端网络等效为一个最简单的、含电流源的有源二端网络的定理。由美国工程师 E. L. 诺顿 (E. L. Norton) 在 1898 年提出。

正弦交流电路中的诺顿定理 任一有源线性非时变二端网络 N, 对外可用一电流源和一等效阻抗的并联组合来等效 (图 1)。此电流源的电流 \dot{I}_{sc} 等于二端网络 N 的短路电流, 等效阻抗 Z_{eq} 等于二端网络 N 的全部独立电源置零后的输入阻抗 (图 2)。电流源 \dot{I}_{sc} 和阻抗 Z_{eq} 的并联组合也称诺顿等效电路。

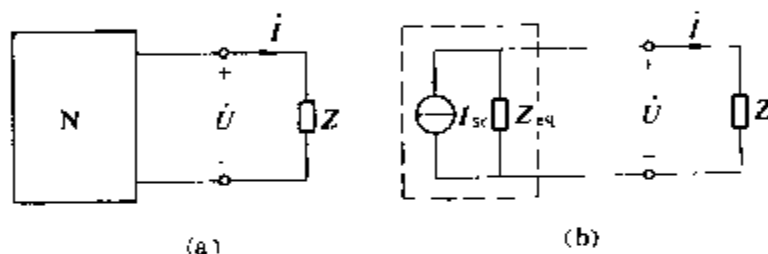


图 1 诺顿定理
(a) 原电路; (b) 诺顿等效电路

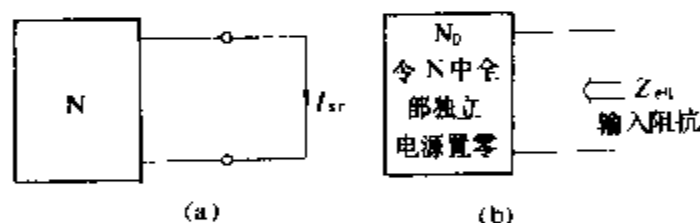


图 2 短路电流和输入阻抗
(a) 短路电流 \dot{I}_{sc} ; (b) 输入阻抗 Z_{eq}

应用 使用诺顿定理时对二端网络 N 的要求、诺顿定理的应用与推广均与戴维南定理相同。(见戴维南定理)

(范丽娟)



Oula - Lagelangri fangcheng

欧拉-拉格朗日方程 (Euler - Lagrange equation) 见变分法。

oumu

欧姆 (ohm) 国际单位制(SI)中电阻、电抗、阻抗等量的单位。欧姆简称欧,符号是 Ω 。当导线中不存在电动势,在导线的两点即两个等位面之间加1 V 恒定电压时可产生1 A 恒定电流,则此两点间导线的电阻定义为1 Ω 。

(肖达川)

oumu dinglu

欧姆定律 (ohm law) 揭示一段导体中流过的电流与该段导体两端电压成正比关系的法则。1827年由德国电学家 G.S. 欧姆 (George Simon Ohm) 对各种金属导体进行了大量实验后总结得出。欧姆定律的数学表达式是

$$U = IR$$

式中 U 为该导体两端的电压, V; R 为这段导体的电阻, Ω ; I 为导体中流过的电流, A。对大多数导体来说,当其两端电压(或流过的电流)在相当大范围内变动时,电阻 R 几乎保持不变。这时电压与电流之间存在线性关系,满足欧姆定律。

欧姆定律的微分形式 有电流流通的均匀、各向同性线性导体内部,空间各点的电流密度 J 与电场强度 E 成正比,即

$$J = \gamma E$$

其中常数 γ 是该导体的电导率。这个表达式也叫欧姆定律的微分形式。在电源内部导电媒质中,还存在有局外电场强度 E' (见恒定电场),这时的欧姆定律微分形式是

$$J = \gamma(E + E')$$

式中 γ 为电源内部媒质的电导率。

欧姆定律的适用范围 对有些导体(如电离气体)和半导体,欧姆定律明显地不再满足。它们的电压与电流之间的关系可用一曲线表示,这个关系曲线叫做伏-安特性曲线。半导体组成的电路元件,其伏-安特性曲线,当电压从正向连接改为反向连接时,会出现迥然不同的形状。这类导体被认为具有非线性电阻,在电工技术中(特别是电子电路中)非线性电阻有着广泛的应用。

(方正翔)

Ouwen dianqiao

欧文电桥 (Owen bridge) 见交流电桥。

P

PASCAL yuyan

PASCAL 语言 (PASCAL) 见程序设计语言。

PMOS jicheng luojimen

PMOS 集成逻辑门 (PMOS integrated logic gate) 全部用 P 沟道 MOS 管集成的门电路, 又称 PMOS 集成门。

按 MOS 管类型的不同 MOS 门可分为三种: 由 PMOS 管 (P 沟道的 MOS 管) 构成的 PMOS 集成门; 由 NMOS 管 (N 沟道的 MOS 管) 构成的 NMOS 集成门, 以及由 PMOS 管和 NMOS 管构成的互补 MOS 集成门 (简称 CMOS)。在工作速度方面 NMOS 优于 PMOS。CMOS 具有更低的功耗, 因而 PMOS 已逐渐

被 NMOS 和 CMOS 所取代。但由于 PMOS 工艺简单, 价格便宜, 在一些中、小规模数控电路中仍被使用。

在 PMOS 集成电路中, 一般按负逻辑规定: 高电平为 0, 低电平为 1。

一个 PMOS 反相器 (非门) 的电路如图 1 所示。其中负载管 V2 的栅极和漏极接在一起, 连到电源 $-U_{DD}$ 上, V2 作为一个二极管, 当作负载电阻用。V1 为驱动管, 电

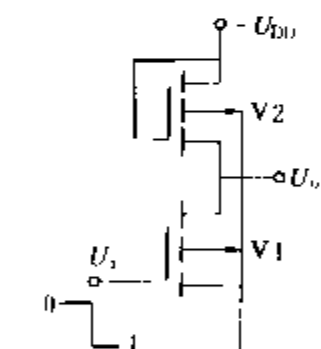


图 1 PMOS 反相

器 (非门)

源电压为 $-U_{DD}$ (≈ -20 V), V1、V2 均为增强型 PMOS 管, U_{V1} 和 U_{V2} 分别为 V1 和 V2 的开启电压 (约等于 -4 V)。

在图 1 中, 当输入电压 U_i 为 0 时, V1 截止, $U_o = -U_{DD}$, U_o 为低电平, 即为 1 电平。当 U_i 为 1 (接近 $-U_{DD} - U_{V2}$) 时, V1、V2 均

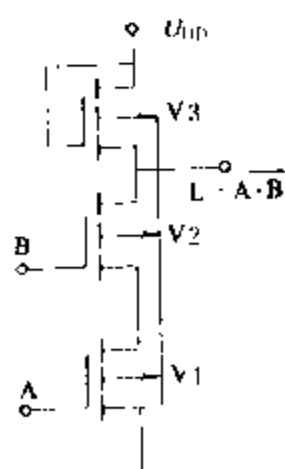


图 2 PMOS 与非门

(负逻辑)

导通, $U_o = \frac{R_{ON1}}{R_{ON1} + R_{ON2}} \times (-U_{DD}) \approx 0$ V, 即为 0 电平。

式中 R_{ON1} 与 R_{ON2} 分别为 V1 和 V2 的漏源导通电阻, 由此可知, 图 1 中的 PMOS 电路是个反相器 (非门)。

PMOS 门的基本形式是与非门 (图 2) 及或非门 (图 3)。

对图 2 来说, 可证明其输出的逻辑表达式为 $L = A \cdot B$ (负逻辑的与非门)。

对图 3 来说, 可证明其输出的逻辑表达式为 $L = A + B$ (负逻辑的或非门)。

此外, PMOS 逻辑门尚有与或非门、异或门和三态输出门等。

(汤之璋)

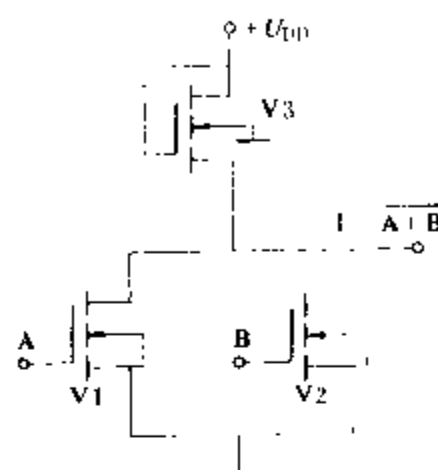


图 3 PMOS 或非门

(负逻辑)

pengzhuang dianli

碰撞电离 (collision ionization) 见电离。

pichuli xitong

批处理系统 (batch processing system)

见操作系统。

pínlǜ

频率 (frequency) 周期性变化的电流 (电压) 每秒变化的次数。一般以 f 表示, 频率的单位为赫兹 (Hz)。在通常的稳态情况下, 电力系统的频率基本保持恒定, 允许偏差不超过 $\pm (0.5\% \sim 1\%)$, 可视为常数 (如中国 $f = 50$ Hz, 有的国家采用 60 Hz), 且全系统频率相同。频率是衡量电能质量的重要指标之一。

角频率 正弦量相角随时间的变化率。正弦电流的数学表达式为

$$i = I_m \sin \theta = I_m \sin (\omega t + \varphi)$$

式中 $\theta = (\omega t + \varphi)$ 是正弦量的相角, 它反映了正弦变量的变化进程。相角随时间的变化率称为正弦变量的角频率, 即

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d(\omega t + \varphi)}{dt} = \omega$$

ω 的单位是弧度每秒 (rad/s), 频率与角频率的关系为

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

瞬时频率 某一瞬时其基波相角随时间的变化率

除以 2π 。在动态过程中由于系统内发电机间存在的同步振荡和异步振荡,可使系统中频率发生变化,且可能引起波形的畸变。若仅考虑其基波分量,则这时频率

$$f = \frac{1}{2\pi} \times \frac{d\theta}{dt} \text{ 称为瞬时频率。瞬时频率不是常数,随}$$

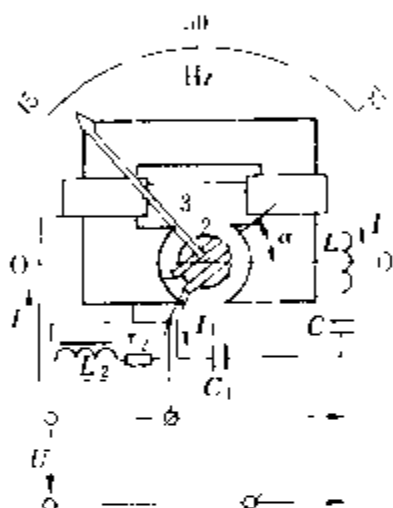
时间而不同,且系统不同点具有不同的瞬时频率。例如,全系统动态频率、地区系统动态频率、机组动态频率和节点动态频率等,它们在数值上会出现明显差异。因而在测量时也需采取相应不同的“辨识”处理。

(韩英铎 陈允康)

pinlubiao

频率表 (frequency meter) 测量周期变化电量频率的电表。有电动系、铁磁电动系、电磁系、变换器式等型式的频率表及数字频率表。

在生产现场,用来监视工频用的配电盘式频率表,大多采用铁磁电动系机构。图中所示为铁磁电动系频率表的结构和测量线路。其中,固定线圈3与电感 L ,电容 C 组成串联谐振回路。适当选择该支路的参数,可使谐振发生在标尺中间频率



铁磁电动系频率表

(如50Hz)处。可动部分包括两个平行的线圈,其中线圈2经电阻 r_2 和电感 L_2 形成闭合回路。当可动部分从中性线 $O-O'$ 偏离 α 角时,线圈2将产生一个与 α 成正比,并使可动部分返回 $O-O'$ 位置的反作用力矩;另一个线圈1经电容 C_1 再与串联谐振支路并联,用来产生转动力矩。将电源电压 U 加到频率表两端,当被测频率等于标尺中间频率时,谐振电路发生串联谐振,这时铁芯上的静止线圈3中电流 I 和线圈1中电流 I_1 ,在相位上差 90° ,从而使转动力矩为0;于是可动部分在线圈2的作用下,使线圈平而与中性线 $O-O'$ 相重合,这时指针指在标尺的中间频率,即50Hz处。当被测信号的频率偏离中间频率时,由于谐振条件被破坏,产生转动力矩,线圈偏离 $O-O'$ 位置,直至转动力矩与线圈2产生的反作用力矩相平衡为止。结果使电表可动部分停在与被测频率相对应的新位置处。以上说明,当被测量线路中各参数都确定之后,电表偏转角仅是被测频率的函数。每一频率对应于一确定的偏转角。

铁磁电动系频率表抗外磁场干扰能力强,功率消

耗小,结构牢固,但由于存在直流磁滞误差和交流频率误差,仪表准确度不高。在要求高准确度的场合,可选用数字频率表。

(顾惠芬)

pinlu celiang

频率测量 (frequency measurement) 单位时间内正弦交流波形重复次数的测量。频率的单位为赫兹(Hz)。频率的测量方法有:频率表法、波形计数法、利萨如图形法、频率电桥法、电容器充放电法等。

频率表法 对于工频及低频电压频率的测量,可采用机械式频率表、数字频率表。对于音频及更高频率电压频率的测量,可采用数字频率表。

波形计数法 将频率为 f 的被测信号接至阴极射线示波器的Y轴输入端,而X轴输入端接入的则是示波器内部的线性扫描电压。调整扫描电压的频率 f_0 ,当示波器荧光屏上被测信号的波形重复数为 n 时,则被测频率 $f = nf_0$ 。

利萨如图形法 将频率为 f 的被测信号与频率为 f_N 的可变标准信号进行比较,通过对阴极射线示波器荧光屏上图形的鉴别来确定被测信号的频率。标准频率电压信号和被测频率电压信号分别加到示波器的X轴、Y轴输入端,由于两个信号的频率、相位都不一致,因此荧光屏上的图形也是各种各样的。调整标准电压信号的频率,当两信号的频率间有一定倍数或分倍数关系以及有不同相移时,电子示波器荧光屏上将出现如图1所示的利萨如(Lissajous)图形。根据图形及标准信号频率就可确定被测信号的频率。例如,当荧光屏上显示出如图1第4行所示的图形,说明标准信号与被测信号频率之比 $f_N/f = 1/4$,因此 $f = 4f_N$ 。

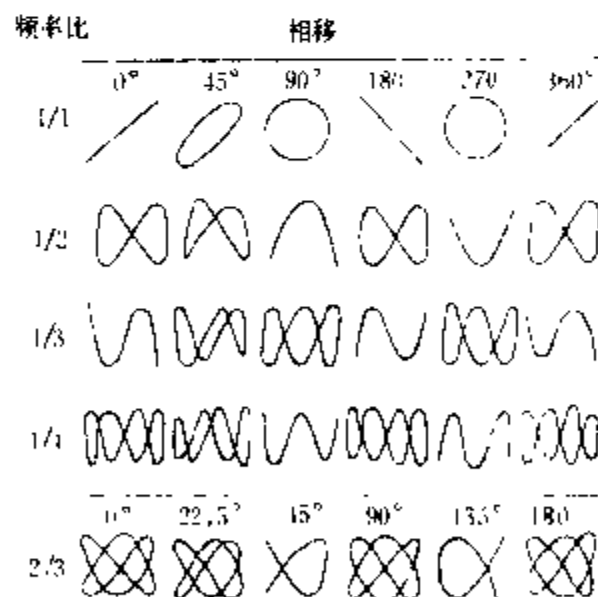


图1 利萨如图形

频率电桥法 平衡条件与频率有关的各种交流电桥都可用来测量频率。

电容器充放电法 原理接线如图2所示。机械或

电子开关 S 受频率为 f 的被测信号控制,以同样频率

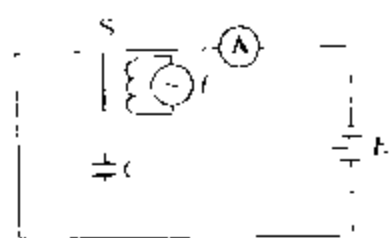


图2 用电容器充放电法
测量频率

f 动作,便标准电容器 C 时而被直流电源 E 充电,时而又放电。每次充电时的荷量为 CE ,因而每秒通过直流电流表的电荷量即为电流 $I=fCE$ 。由电源电压 E 、标准电容器的电容量 C 及电流表的读数 I ,根据公式 $f=I/(CE)$ 即可求得被测频率 f 。

(谈克雄)

pinlǜxiangyingfa

频率响应法 (frequency response method)

利用系统的频率响应特性,在频域中对控制系统进行分析和设计的一种方法,也称为频率特性法或简称频率法。在时域中分析和设计控制系统(特别是高阶系统)往往是很困难的,而频域中的一些图解法则可以较方便地用来分析和设计控制系统。用频率法分析和设计控制系统时,首先获得控制系统的频率响应特性(系统对正弦输入的稳态响应),然后根据时域和频域之间的关系获得控制系统的时间响应特性。频率响应法是一种分析和设计控制系统的间接方法。

频率响应法的主要优点有:①可用系统的开环频率特性研究闭环系统的稳定性,而不必求解特征方程的根;②系统的频率特性可以用频率响应实验确定,这对于某些难以用分析方法确定传递函数的环节和系统有很大的实际意义;③用频率响应法设计的系统能够抑制或排除某些频率的噪声;④频率响应法还可以用于某些非线性控制系统的分析和设计。

将纯虚数 $j\omega$ 置换系统传递函数 $G(s)$ 中的复变量 s ,就得到系统的频率特性(或称正弦传递函数,或频率传递函数) $G(j\omega)$,频率特性是传递函数的一种表现形式。

一个稳定的线性定常系统,在正弦输入信号作用下,它的稳态输出是与输入信号同频率的正弦函数,但振幅和相位与输入信号不同。频率特性 $G(j\omega)$ 是一个复数量,可以写成根坐标形式

$$G(j\omega) = |G(j\omega)|e^{j\angle G(j\omega)}$$

也可以写成直角坐标形式

$$G(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$$

$|G(j\omega)|$ 为稳态输出与输入的振幅比, $\angle G(j\omega)$ 为稳态输出与输入的相位差,它们随频率 ω 变化的关系分别称为系统的幅频特性和相频特性。 $R(\omega)$ 和 $I(\omega)$ 则分别称为系统的实频特性和虚频特性。

工程上运用频率响应法研究控制系统时,往往采

用图解法,因为这样能更方便而迅速地获得问题的近似解。频率特性法通常有三种图形表示法:

- (1) 对数坐标图,即伯德图。
- (2) 极坐标图,即奈奎斯特图。
- (3) 对数幅值-相位图,即尼科尔斯图。

(钱源平)

pinpu

频谱 (frequency spectrum)

见非正弦周期电流电路。

pinghua

平滑 (smoothing)

见卡尔曼滤波。

pingjun gonglv

平均功率 (average power)

-周期内电

路元件吸收或发出的瞬时功率的平均值。平均功率又称有功功率或有效功率,简称功率。令 P 表示功率, $p(t)$ 代表瞬时功率、 T 为周期,则

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

若电路元件的电流和电压是同频率的正弦波形,则元件吸收的平均功率 P 为

$$P = UI \cos \varphi$$

式中 U 和 I 分别是电压和电流的有效值, φ 是电压和电流之间的相角差。

电流和电压波形是同周期的非正弦波形时,可将它们展开成傅里叶级数。若将直流分量和基波分别当作零次和一次谐波看待,则电路元件吸收(或发出)的平均功率等于其所含各次谐波的平均功率之和,即

$$P = \sum_{n=0,1,2,\dots} P_n = \sum_{n=0,1,2,\dots} U_n I_n \cos \varphi_n$$

式中 U_n 和 I_n 分别是第 n 次谐波电压和电流的有效值, φ_n 是它们之间的相角差,而且规定 $\varphi_0 = 0$ 。通常规定,用户吸收平均功率时的有功功率为正值,发出平均功率时的有功功率为负值。

(孙树勤)

pingjunzhi

平均值 (average value)

一个量的各瞬时

值或其绝对值在某一规定时间间隔内的算术平均值。当物理量是周期量时,此时间间隔通常是选一个周期。因此,周期电流瞬时值 $i(t)$ 的平均值 I 为

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (1)$$

根据式(1),正弦电流在整个周期内的平均值等于零;

非正弦电流在整个周期内的平均值等于它的直流分量。

如果用 $i(t)$ 的绝对值的算术平均值来定义平均值 I , 则

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt \quad (2)$$

由式 (2) 得到的周期电流的平均值, 应理解为该电流经过理想全波整流后的平均值。对于正弦电流 $i(t) = \sqrt{2} I \sin \omega t$, 式中 I 为有效值, ω 为角频率, 则平均值为 $I = \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2} I |\sin \omega t| dt = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I \approx 0.9 I$ 。对于正弦交流电压等其他物理量, 由式 (2) 得到的平均值也近似等于有效值的 90%。 I/I 即为波形因数。

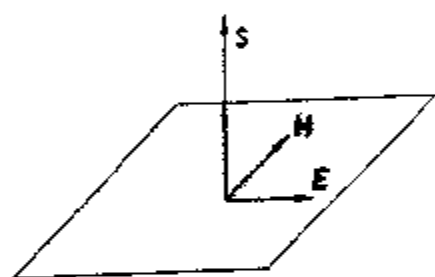
周期电流的平均功率 P , 只采用类似式 (1) 的计算公式 (见平均功率)。

(孙树勤)

Poynting shiliang

坡印廷矢量 (Poynting vector) 表示统一电磁场中, 单位时间内穿过与电磁能量流动方向垂直的单位面积的能量,

简称电磁能流的面密度。坡印廷矢量的方向与电磁能量流动方向取一致。它是由英国物理学家 J. H. 坡印廷 (J. H. Poynting)



S 、 E 、 H 的方向间关系

提出的。坡印廷矢量 S 与电场强度 E 及磁场强度 H 的关系为

$$S = E \times H$$

S 的单位在国际单位制 (SI) 中为瓦特每平方米 (W/m^2)。坡印廷矢量的闭合面积分表示穿出该闭合面的电磁能流 P ,

$$P = \oint_A S \cdot dA$$

式中 A 是闭合面。

坡印廷定理: 穿入闭合面的电磁能流 $-P$ 等于该面所围体积内损耗功率 P_d 与该体积内电磁场储能功率 P_w 之和并减去该体积内局外场所提供的功率 P_s , 即

$$-P = P_d + P_w - P_s, \quad P_w = \partial W / \partial t$$

式中 W 为该体积内储存的电场能量与磁场能量之和。 t 为时间。于是可得

$$-\oint_A S \cdot dA = P_d + \partial W / \partial t - P_s$$

该式是根据能量守恒原理得出的。

由坡印廷定理可知: 电磁能量靠电磁场传递。例如从变电所到负荷中心架设的输电线本身并不传递能量, 输电线的作用只是在其周围形成一种电磁场, 这个场把电磁能量从变电所一端不断地送到负荷端。在无线电工程中, 没有输电线, 电磁能量靠电磁场传递的特点就更为明显。

坡印廷矢量的相量形式为

$$\dot{S} = \dot{E} \times \dot{H}$$

式中 \dot{E} 为电场强度的相量; \dot{H} 为磁场强度相量 \dot{H} 的共轭复数。在无局外场的区域内, $-\oint_A \dot{S} \cdot dA$ 代表闭合面 A 内的复功率, 其实部与虚部分别代表有功功率和无功功率。

(马信山)



qidian

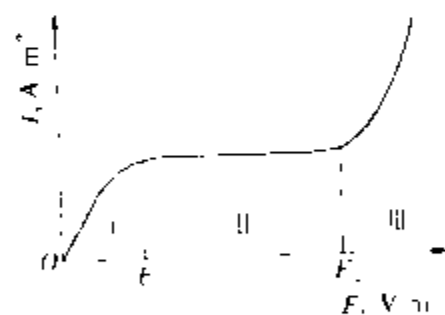
奇点 (singular point) 见相平面法。

qiti dianjiezhi de diandao

气体电介质的电导 (electrical conduction in gaseous dielectrics) 在外电场作用下气体的导电性能。气体电介质在低于气体击穿电场强度下,漏电流极小(电流密度 $J < 10^{-10} \text{ A/m}^2$),故可作为标准电容器的介质。

气体电介质中的载流子主要是由于气体受到紫外光成宇宙线辐射以及强热等物理因素的作用,分子发生电离产生正负离子对,或阴极受激发射出电子而形成。这些载流子在电场的作用下漂移产生电导电流。这就是气体电介质电导的成因。

气体电介质中电流与电压的关系,就总体而言并非完全呈线性关系,故不能用单一的电导率来表征。通常其伏安特性可分为三个区:线性区、饱和区和碰撞电离区。图中 I、



气体中电流密度 J 与
电场强度 E 的关系

II、III 分别代表以上三个区。在线性区 (I), 气体介质中电场强度较低 ($E < E_1$), 产生的载流子主要通过相互复合而平衡, 可形成一较稳定的载流子浓度。在载流子迁移率与电场无关的情况下, 电导率 γ 为一与电场无关的常数, 伏安特性呈线性。在饱和区 (II) ($E_1 < E < E_2$), 由电离形成的离子已来不及相互复合而几乎全部被电场吸引到电极上复合, 因而气体电介质中的电流密度趋于饱和而与电场无关。在碰撞电离区 (III), 由于电场强度进一步增加 ($E > E_2$), 气体中的载流子在强电场的作用下加速并积累能量。当在自由行程区间中载流子所积累的动能超过气体分子的电离能时, 分子则被碰撞电离, 此时气体中的电流密度 J 将随电场强度 E 的增高呈指数关系激烈上升。电场强度再增加, 气体将发生

击穿, 从绝缘状态转变为导电状态 (见气体击穿理论)。

(徐传骥)

qiti jichuan lilun

气体击穿理论 (theory of electric breakdown of gases) 解释气体击穿现象的理论。在

气体间隙上施加电压及紫外线等高能辐照时, 可以观察到流过间隙的微小电流。当电压增加时, 电流也随着增加, 直到某一饱和电流值。当电压再增加时, 电流又较快地上升, 达到所谓的汤森 (Townsend) 放电阶段。当电压再升高到某一临界值时, 由于电压的微小增大, 会引起电流骤然剧增。这时气体间隙丧失其电气绝缘性能而变为导电通道。这就是气体间隙的击穿现象。这个临界电压值称为击穿电压。在气体间隙发生击穿后, 即使没有外辐照源, 间隙中的放电电流也会持续下去, 即达到自持放电的阶段。根据外回路的条件, 自持放电可以发展成辉光放电、电弧放电或火花放电等形式。

对气体击穿现象的解释有两种相互补充的重要理论: 汤森放电理论和流注放电理论。汤森理论认为气体间隙中发生的电子碰撞电离及阴极上发生的二次发射过程是气体间隙击穿的主要机制。汤森理论适合于低气压以及低 pd (气压 p 和间隙距离 d 的乘积) 值的情况。流注放电理论认为除电子碰撞电离之外, 在电子崩头部空间电荷引起的电场畸变以及间隙中的光电离在击穿过程中也起着重要作用。流注理论适合于较高的 pd 值。

根据气体间隙的气压高低、电极结构形状以及外加电源种类的不同, 发展了相应的特定情况下的气体击穿理论, 如高压下气体击穿理论、不均匀电场中的击穿理论、高频击穿理论、真空击穿理论、长空气间隙击穿理论以及沿面放电理论等。

(罗承沐)

qiti jueyuan cailiao

气体绝缘材料 (gaseous insulating materials) 能使有电位差的电极间保持绝缘的气体。

气体绝缘遭破坏后有自恢复能力, 它有电容量稳定、介质损耗极小、价格便宜等优点, 是极好的绝缘材料。可供应用的绝缘气体列于表中。

气体的绝缘特性服从巴申定律 $U_d = f(pd)$, 即击穿电压 U_d 是间隙距离 d 和气压 p 乘积的函数见图 1。压力的增大和减小都能提高气体的击穿电压。

作为高压装置的外绝缘材料, 空气应用最广。它的介电强度与电场分布和电压波形有关, 图 2 为极不

均匀电场在标准大气条件下的情况。如偏离标准条件应按规定修正。

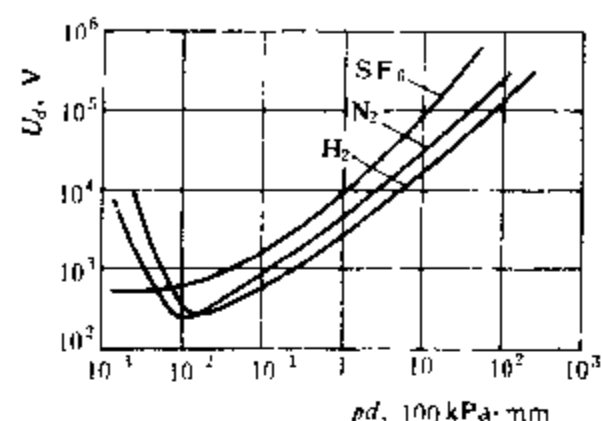


图1 气体的绝缘特性

作为高压装置的内绝缘材料，目前六氟化硫（SF₆）用得最普遍。SF₆具有六个氟原子围绕中心一个硫原子的分子结构，其键合距离小，键能高，化学稳定性好，离解温度在1000 K以上。它属电负性气体，极易吸附自由电子而削弱电离过程，因此介电强度很高。灭弧能力约为空气的100倍。所以它兼有绝缘和灭弧的双重性能，在高压断路器中应用日广。20世纪60年

不同绝缘气体的物理特性

取数据条件 $P=0.1\text{MPa}$ 和 $\theta=0^\circ\text{C}$		击 穿 场 强	相 对 分 子 量	密 度	电 子 自 由 行 程	电 离 能	凝 聚 点
气体种类	符 号	$E^{①②}$ (kV/cm)	M	d (kg/m ³)	λ_E (μm)	W_1 (eV ₁)	θ_k ($^\circ\text{C}$)
氢 气	H ₂	15	2	0.09	0.65	15.8	-243
二氧化碳	CO ₂	25	45	1.91	0.24	14.4	-29
空 气	—	32	(29)	1.25	0.37	—	-193
氮 气	N ₂	33	28	1.21	0.35	15.7	-196
一氧化碳	CO	42	28	1.24	0.36	14.1	-192
氟里昂	CF ₂ Cl ₂	80	121	5.33	0.30	≤ 18.0	-28
六氟化硫	SF ₆	89	146	6.39	0.22	15.9 19.3	-63
四氯化碳	CCl ₄	180	154	6.65	0.08	11.1	+77

① 参考值，因各文献所列大小相差很大。

② 系板-板电极间距1 cm的击穿值。

具有毒性的低氟化合物。SF₆对含硅材料如玻璃、瓷等有腐蚀性，当它含有水份时，分解物的腐蚀性更强。此外，SF₆在不均匀电场中介电强度大为降低，这些均应在实际运行中加以重视。

用作气体绝缘材料的还有氟里昂、氮、二氧化碳等。

(马乃祥)

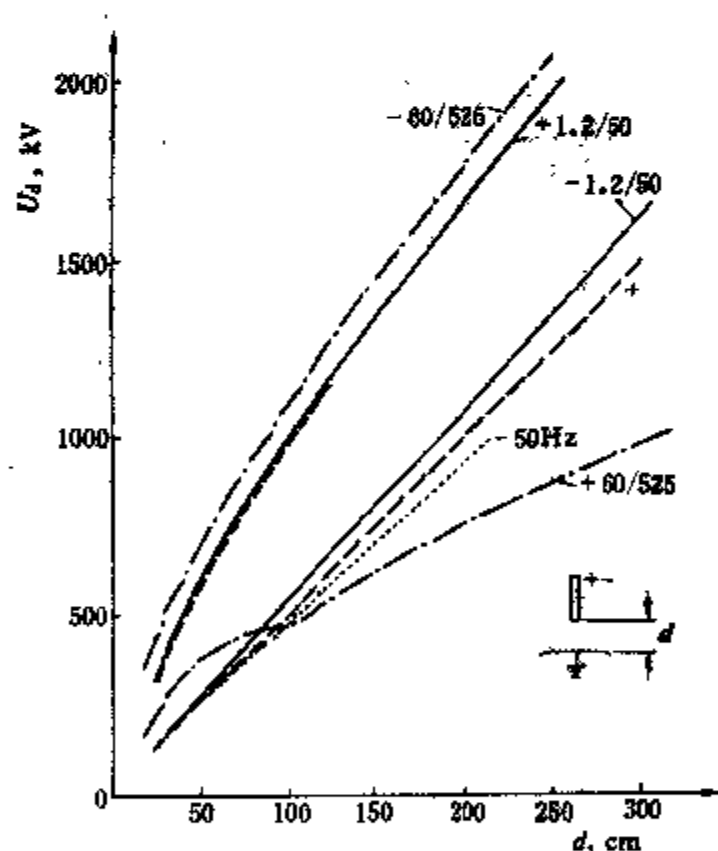


图2 空气的击穿特性

代后发展了充高压SF₆的金属全封闭式组合电器。它占用空间小，运行不受环境影响，已被用于超高压变电所及城市配电网中。充SF₆的同轴管道可取代充油电缆用于高落差场合，SF₆绝缘变压器具有防火防爆的优点，适用于高层建筑。

SF₆本身无毒，在电弧或电晕作用下会生成一些

qiti jueyuan jinshu fengbi dianqi jueyuan shiyan
气体绝缘金属封闭电器绝缘试验 (insulation test for gas insulated metal - enclosed switchgear) 对气体绝缘金属封闭电器（简称为GIS）进行的绝缘性能检查试验。主要包括绝缘电阻试验、耐压试验、局部放电试验。

绝缘电阻试验 用2500 V兆欧表测量其绝缘电阻，一般在整体组装完毕，而SF₆气体未充入前进行。

耐压试验 与其他电力设备不同，在GIS的现场试验中必须进行耐压试验，以检查其在出厂、运输和安装过程中是否混入导电杂质，部件有无位移或者装配不良等现象，避免因绝缘水平下降而在运行中造成事故。一般认为耐压试验可在交流电压下进行，它不仅可发现内部污染（如导电微粒），还可对GIS作老炼试验。耐压试验的时间通常为一分钟，可采用逐级升压方式，即从较低电压开始，每级电压停留一段时间；若发生击穿，则可降低或去掉电压，进行分析后再重复进行，目的是对GIS作老炼试验，以消除一些可自行恢复的缺陷。由于GIS的电容量较大，如采用

工频试验变压器,则变压器的容量很大,在现场试验时感到很不方便,故多使用串联谐振装置。后者有两种类型,如图1所示。一种是工频谐振试验装置,当试品电容量不同时,调节可调电抗器的电感量,使回路在50 Hz下发生谐振,而在试品上产生所需的试验电压。可调电抗器的电感值可在数百至数万亨利间均匀调节,并可多台并联或串联使用,以进一步扩大其参数调节范围。这种装置的缺点是,可变电抗器的设计制造较复杂,运行时有较大的噪声。另一种是变频谐振试验装置,其工作原理和工频谐振试验装置相同,只是将可变电抗器改为固定电抗器,而将调压器T1改变为由变频电源供电。变频电源的频率可在50~300 Hz间调节,以便在不同试品容量下,回路均能发生谐振。这类装置的优点是,设备重量轻,噪声小,固定电抗器的设计制造容易。试验表明,在上述频率范围内的耐压试验与工频耐压试验的结果是一致的。

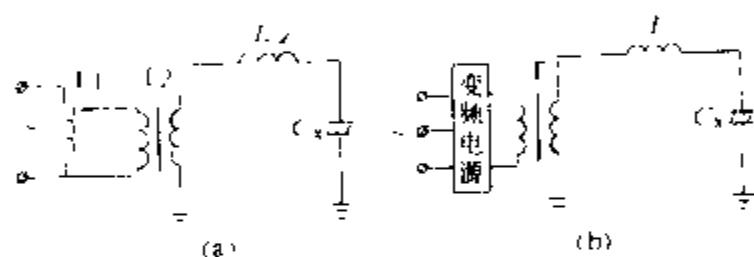


图1 串联谐振试验装置
(a) 工频谐振试验装置; (b) 变频谐振试验装置
 C_x —试品

此外,还可进行冲击耐压试验。振荡操作冲击耐压试验对发现污染和不正常电场结构均比较有效,适合于较高额定电压设备的耐压试验。试验可利用振荡操作冲击电压发生器进行,其原理接线和波形如图2所示。振荡频率可用250 Hz或低于2.5 kHz。

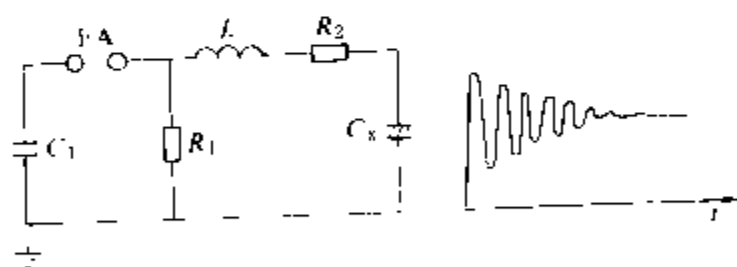


图2 振荡操作冲击电压发生器
(a) 原理接线图; (b) 振荡操作冲击波形

局部放电试验 GIS在最高运行电压下,其内部不应发生局部放电。除在工厂需进行局部放电试验外,最好在现场试验时配合工频耐压试验同时检测其局部放电情况。GIS的局部放电一般采用加速度传感器来检测。其工作原理是通过检测局部放电引起的GIS壳体的微弱振动来实现对局部放电的测量。可以检测出放电量为数十至数百皮库的微弱放电。

(王昌长)

qianyiliu

迁移率 (mobility) 等于一个载流子沿电场方向的平均漂移速度的模除以该电场强度的模之商的一个量。在外加电场作用下,半导体中的载流子除了作无规则的热运动外,将沿电场方向(空穴)或反电场方向(电子)作定向漂移运动,构成漂移电流。单位电场强度下,载流子的平均漂移速度就是载流子的迁移率,以 μ 表示。它又具体分电子迁移率 μ_n 和空穴迁移率 μ_p 两种。各种半导体 μ 的数值范围为 $10^2 \sim 10^5 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 。半导体的电导率为 $\sigma = nq\mu_n + pq\mu_p$,其中 q 是电子电荷; n 和 p 是电子和空穴浓度。可见迁移率是反映载流子漂移运动快慢(即其导电能力)的参数。晶体管在工作时,半导体中存在着非平衡载流子的浓度梯度,载流子的扩散运动将构成扩散电流,总电流是它和漂移电流之和。扩散系数 D 和 μ 之间遵守爱因斯坦关系式 $D/\mu = kT/q$,即 $\mu \propto D$ 。 μ 愈大,载流子的漂移和扩散运动就愈快。这样, μ 决定了晶体管在高频情况下使用的极限。由于 $\mu_n > \mu_p$,因此NPN晶体管比PNP晶体管适用的频率更高,N沟道MOS器件比P沟道MOS器件速度更快。GaAs的迁移率比Si的迁移率高得多,因而GaAs更适合制造超高频器件。

杂质离子、各种晶格缺陷以及晶格原子的热振动等,破坏了半导体理想晶格的周期性势场,使得载流子在运动过程中不断地遭到散射,因此, μ 值受掺杂浓度、晶体缺陷和温度等因素的影响较大。室温下, μ 值随杂质浓度的增加而降低。在半导体材料和器件生产过程中,体内和表面层的迁移率是需要在线检测的重要参数之一。

(陈光遂)

qianhan cailioo

钎焊材料 (brazing and soldering materials)

制作钎焊所需的钎料及钎剂的材料。钎焊是连接金属或金属及陶瓷的一种低温连接方法。钎焊的特点是,在焊接时钎料熔化而被焊材料(母材)不熔化。钎焊材料包括钎料和钎剂或可控气氛两大类材料。

钎料 其熔点应低于被焊材料,具有润湿母材及与母材牢固结合的能力,以及能保证钎焊接头服役所需要的各种性能。钎料一般以其熔点450℃为界,分为熔点小于450℃的软钎料和大于450℃的硬钎料。这两类钎料均由各种有色金属及其合金组成。

以熔点低和工艺性优良为特点的锡铅钎料是连接导线和印刷电路元件最常用的软钎料。选用时应对其杂质元素(铜、铁、锌、铝、砷等)的含量严加鉴别,以防虚焊。

为了钎焊半导体硅片的需要,已成功地研制出金

硅、金锗、金镉、金铟和金锡等低熔点的金基钎料。

近年来,为了节银还开发了铜锡磷和铜锡镍两种代替银基钎料的铜基非晶态钎料,并在触头钎焊中获得了应用。制造这两种钎料时,采用了新颖的激冷技术,使液态钎料迅速凝固为厚度不大于 0.05 mm 的箔片,而其微观结构呈非晶态或微晶结构。

钎焊各类钢件的硬钎料除银基钎料外,还可用各种铜基钎料,它们主要是纯铜和具有不同含锌量的铜锌合金。

钎焊纯铜时,广泛使用一种低成本的含磷 5%~9% 的铜磷钎料。它是一种自钎剂钎料,用它钎焊铜导体时可不用钎剂。钎焊铜及其合金如黄铜时,银基钎料是另一种应用十分广泛的硬钎料。它是以银铜合金为基,为了获得不同的熔点,可在其中添加不同量的锌、镉元素。但是对于真空钎焊或要作真空处理或在真空中工作的钎焊接头,不能使用含锌和镉的银基钎料,应选用饱和蒸汽压低的锡和铟来替代锌和镉。

钎焊铝导线时宜采用铝硅共晶钎料和铅铜硅钎料,以保证铝导线接头的耐蚀性。

生产电真空器件时,为了分级钎焊的需要,已研制成功金铜、金镍等高熔点的金基钎料和纯银钎料。连接难熔金属钨、钼时,需使用铜镍钎料。为了在真空中钎焊金属和陶瓷,宜选用铜锗钎料。

钎剂 其功能是保护接区免受氧化,清除钎焊时不可避免会产生的各种金属氧化物,并且减小钎料在液态时的表面张力,以改善钎料的工艺性。

钎剂由无机酸(如盐酸、氢氟酸和磷酸)、无机盐(重金属的氯化物、碱金属和碱土金属的氯化物与氯化物)和氧化物(硼酸和硼砂、松香和各种弱有机酸)组成。

可控气氛 供在炉中钎焊时使用,是钎剂的替代物。它可分三类:惰性气体(氩、氦、氮),活性气体(氢和一氧化碳)及真空。采用可控气氛钎焊时,可使钎焊件不被氧化,保持金属的光泽。

(华自主)

qingbao jiansuo

情报检索 (information retrieval) 按某种体系结构把情报组织成情报集合存贮起来,再从情报集合中查找出符合特定需要的情报的过程。所以,它的全称是情报存贮与检索,也称广义的情报检索。狭义的情报检索仅指从具有一定体系结构的情报集合中查找出符合特定需要的情报的过程。

情报检索按存贮的情报形式和检索得到的结果,一般分三种。①文献检索。情报以文献(包括题录、文献或全文)形式存贮,检得的结果是情报集合中直接存

贮着的、与检索课题相关的文献或文献题录、摘要。②数据检索。情报以数据形式存贮,检得的结果是情报集合中直接存贮着的、满足检索课题要求的确定的数据。这里所说的数据是广义的数据,即能够由计算机处理的数字、字母和符号等。③事实检索(亦称事项检索)。情报以事实形式存贮,检得的结果是通过逻辑比较、推理、运算等处理得出的、满足检索课题要求的、并非一定是情报集合中直接存贮着的确定的事实。这里所说的事实也是一种广义的数据。

还有一种观点认为,情报检索只分文献检索和数据检索两种。上述第三种检索,若检得的结果为情报集合中直接存贮着的事实,则归并到数据检索中;若检得的结果是情报集合中非直接存贮而是通过运算推出的新事实,则不属于情报检索的范畴。

情报检索一词是 C. N. 莫尔 (C. N. Mooers) 在 1950 年国际数学会议上最先提出来的,但情报检索的实践却早已存在,只不过是采用手工方式处理而已。第二次世界大战以后,随着计算机等现代技术的发展及其应用于情报检索领域,使情报检索获得了迅速的发展,出现了利用计算机实现的情报检索。为了与以前的手工情报检索相区别,通常把利用计算机进行的情报检索称作计算机情报检索或机器检索。

20 世纪 60 年代,计算机情报检索大多采用脱机检索方式,即由专职计算机情报检索员,按一定的格式,将检索课题,通常是若干个课题集中在一起,成批地输入计算机进行处理,从存贮在计算机内的数据库(即情报集合)中查找出符合需要的情报,而情报用户并不直接与数据库和存贮着数据库的计算机发生关系;70 年代,广泛采用联机检索方式,即情报用户可利用终端,直接与被访问的数据库和存贮着数据库的计算机进行通信,实现会话式检索,特别是 1973 年以后,与网络通信技术相结合,又进一步发展了联机网络情报检索方式(即远程联机情报检索方式),情报用户可以利用终端,在远离被访问数据库及存贮着数据库的计算机的任何地方,通过通信网络(包括公用电话网络、专用通信网络、公用数据交换网络或卫星通信系统等),实现联机检索。这里所说的终端是指能通过通信信道发送和接受信息的某种设备,如电传打字机、微型计算机等。目前,世界上最著名的情报检索系统有美国的洛克希德公司的 DIALOG、系统发展公司的 ORBIT,以及欧洲航天局的 ESA--IRS 等。由于这些联机网络情报检索系统的检索终端已跨越国界,遍布世界各地,所以联机网络检索也就有了国际联机检索的称呼。计算机情报检索,与手工情报检索相比,解决了情报检索快、准、全的问题,尤其是联机网络情报的发展,使情报资源在世界范围内的共享真正

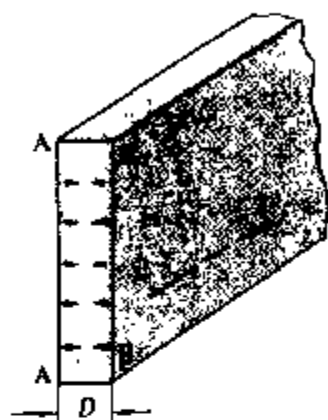
成为可能。

(陈加仁)

qufu xiaoying

趋肤效应 (skin-effect) 交流电流通过导体时, 由于电磁感应引起导体截面上电流分布不均匀并且愈接近表面电流密度愈大的现象, 又称集肤效应

成趋表效应。趋肤效应使电流集中在导线表面处, 使得导线的有效截面变小, 导线的等效电阻增大。在无线电工程中, 常采用多股细导线代替单股粗导线制作高频线圈, 以克服其等效电阻增加。



对于扁矩形截面直长导线, 当通以高频正弦电流 I 时, 电流密度或磁场强度等场量将按指数规律沿深度方向衰减, 即从图中左、右两

侧表面 A、B 处沿实线箭头方向衰减。此时可引入透入深度 d 来表示趋肤效应的程度。它等于导体表面场量衰减至 36.79% (即 $1/e=1/2.7183$) 的深度。透入深度 d 愈小表示趋肤效应愈强烈。若导体片的宽度 $D \gg d$, 则在距表面 $4d$ 以外的导体内部, 几乎没有电流, 使导体的利用率降低。通常位移电流可忽略时

$$d = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\gamma}}, \omega = 2\pi f$$

式中 ω 和 f 分别为正弦电流的角频率和频率; μ 和 γ 分别为导线的磁导率和电导率。当 ω 、 μ 、 γ 愈大时, 透入深度 d 愈小。对于铜导线 $\mu=4\pi\times 10^{-7}\text{H/m}$, $\gamma=5.8\times 10^7\text{S/m}$, 若 $f=50\text{Hz}$ 时, $d=9.45\text{mm}$; 但当 $f=500\text{kHz}$ 时, $d=0.094\text{mm}$ 。对于圆截面长直导线, 场量沿深度方向的衰减规律比较复杂。但若频率很高, 电磁波透入导体的深度较导线半径小得多时, 仍可将圆导线近似地看成扁矩形截面导线, 采用上述透入深度公式近似地估算。

(马信山)

R

RC zhengxianbozhendangqi

RC 正弦波振荡器 (RC sine-wave oscillator)

用电阻 R 和电容 C 构成选频网络作反馈电路的反馈型正弦波振荡电路。典型的 RC 振荡器有文氏电桥式振荡器和移相式振荡器。它们适用于产生 1Hz 到 1MHz 的低频振荡, 故常称低频振荡器。频率稳定度约为 10^{-3} 或更低。

文氏电桥式振荡器 由放大电路和文氏电桥反馈电路组成, 电路如图 1 所示。放大电路可以由集成运算放大器组成同相比例放大 [如图 1(a)], 或由两级共射级联负反馈电路 [如图 1(b)] 构成。放大电路的输入和输出相位相同。反馈电路由 R_1 、 C_1 、 R_2 、 C_2 串并联组成。它在某一频率时, 选频网络相移为零, 则放大电路与反馈网络共同构成正反馈。 R_1 、 C_1 串联支路, R_2 、 C_2 并联支路和负反馈电阻 R_f 、 R 构成电桥的四个桥臂, 因而称为文氏电桥式振荡器。

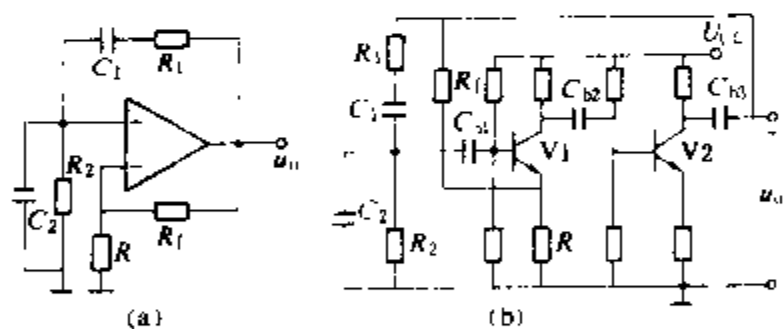


图 1 RC 振荡器原理电路图

(a) 用集成运放构成的; (b) 用两级共射级联负反馈电路构成的

RC 选频网络的选频特性为: 当 $f_0 =$

$\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$ 时, 反馈系数 (见反馈放大器) $|F| =$

$\frac{1}{3}$, $\varphi_F = 0^\circ$ 。因此, 当放大电路的电压放大倍数 $|A| =$

3, $\varphi_A = 0^\circ$ 时, 正好构成正反馈电路, 满足振荡所要求的振幅平衡和相位平衡两个条件, 形成自激振荡。电路的振荡频率即为 f_0 。当 $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$ 时, $f_0 =$

$\frac{1}{2\pi RC}$ 。为了得到频率可调的正弦波振荡, 可以用双

连电位器或双连电容器同时改变 R_1 和 R_2 或 C_1 和 C_2 。

文氏电桥式振荡器的起振条件为 $A > 3$ 。

为了使放大电路工作在线性区, 减少输出波形的失真, 电路中采用非线性元件, 例如用负温度系数的热敏电阻作 R_f 。在起振过程中, 由于 $|A| > 3$, 输出电压的幅值将逐渐由小到大, 此时, R_f 的阻值也将随温度增大而减小, 而 $|A|$ 将下降, 直至 $|A| = 3$ 时, 输出电压幅值就稳定在一个合适的数值上。非线性元件也可以是晶体二极管、稳压管、钨丝灯泡、场效应晶体管等。

移相式振荡器 它的反馈电路由三级 RC 移相电路组成, 每级 RC 的相移可位于 0° 到 90° 之间。对某一频率, 三级串接的总相移可得 180° 。放大电路由一个反相比例放大电路, 或由单管共射放大电路组成, 如图 2 所示。移相电路和放大电路各自移相 180° , 正好构成正反馈, 产生自激振荡。移相式振荡器电路简单, 但输出波形差, 频率调整不方便, 频率稳定性及幅度稳定性较差。适用于固定频率场合。常用于轻便型测试设备和遥控设备中。

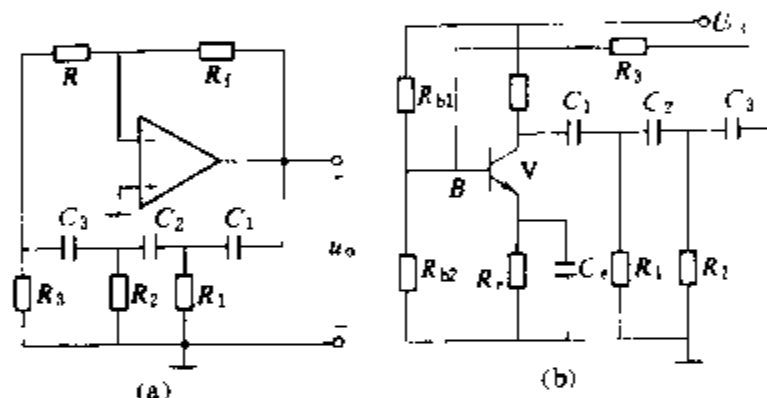


图 2 移相式振荡器原理电路图

(a) 用集成运放构成的; (b) 用单级共射放大电路构成

振荡频率 f_0 : 当 $C_1 = C_2 = C_3 = C$, $R_1 = R_2 = R_3 =$

R 时, $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ 。式中 $R_3 = R_3 // R$ [见图 2(a)],

或 $R_3 = R_3 // r_i$; r_i 为 B 点对地的等效电阻 [见图 2(b)]; $//$ 是电阻并联符号。

起振条件: 放大电路的电压放大倍数必须满足 $|A_u| \geq 29$ 。

(叶德敏)

redionli

热电离 (thermal ionization) 见电离。

reguxing suliao

热固性塑料 (thermosetting plastic)

一种受热后能获得不熔和不溶特性的塑料。原因是受热时发生固化反应。可用加热、催化剂、辐照等方法进行固化。共有 9 个品种: ①氨基类中的三聚氰胺甲醛塑

料。质硬、耐电弧，以纤维填充时使用温度范围为 $-57\sim 121^{\circ}\text{C}$ ，可制成电器零件，特别适宜作开关设备的灭弧室。②酚醛类塑料。机械强度和耐热性较好，可制成模压绝缘制品。③环氧类树脂。用胺类、酸酐类、酰胺类等固化剂固化，可与填料、增塑剂等混合得到较硬的制品。可浇注成型，收缩程度小，尺寸稳定性好，可浇注成高绝缘性零、器件，如变压器、互感器、开关设备零件、电缆终端头或连接盒等。还可用于电气绕组组件的浸渍密封，浸渍层压板（环氧玻璃钢）等。环氧树脂种类很多，主要有双酚-A/环氧氯丙烷型，另外还有能提高耐热性能的线型甲酚甲醛型，能提高电性能的线型酚醛型，以及可提高耐气候性能的脂环型。④不饱和聚酯类。包括醇酸与烯丙酯两类。用苯乙烯化聚酯树脂与玻璃纤维预混成团状物，也可以用醇酸树脂或苯二酸烯丙酯单体为基体形成固团模塑料或粘稠模塑料，可制作互感器、电气零件等。其性能近似环氧树脂，可加温成室温固化，但价格较环氧树脂低。⑤有机硅模塑料。能耐 $-70\sim 310^{\circ}\text{C}$ 温度，憎水性强，电性能好，但粘接力不及环氧树脂，一般加有玻璃纤维或矿物填料，用作电气电子零件和高温结构件。⑥呋喃树脂。耐化学药品及耐热性优于酚醛和聚酯类，可用于户外，可制成水管、风道、泵件和热交换器等。⑦聚二苯醚。耐热性好，长期使用温度为 180°C ，短期为 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，耐腐蚀，耐辐照，耐氟利昂，具有自熄性、高机械强度和优良的电性能，可作H级耐热绝缘材料和耐腐蚀电气零件。⑧热固性聚丁二烯树脂。具有坚韧性好、挠曲强度高、硬度高、吸湿性低、耐化学药品性能及电气绝缘性能好等优点。其机械强度相当于环氧树脂，热变形温度达 260°C 以上，可作涂料或助剂用。⑨聚苯。其特点是热稳定性好，具有耐高温、耐腐蚀、耐辐照及耐磨等优点。分子量一般较低。具有高结晶性。可用于制作离子交换树脂、有机半导体等。

热固性塑料所用热固性树脂一般采用缩聚法合成，在固化过程中往往释放出低分子产物。可采用模压、浇铸、嵌铸、灌注、熔敷及层压等方法进行加工成型。上述9种塑料中，在电力工程中应用广而多的一类是环氧类。脂环族环氧是为获得低粘度、高耐热环氧树脂而发展起来的新品种。

（王寿泰）

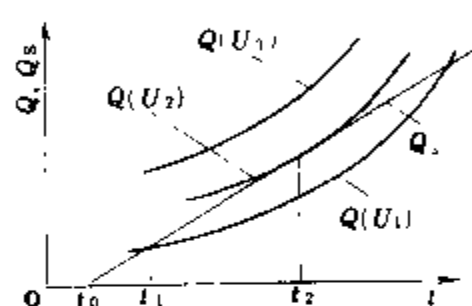
reji chuan

热击穿 (thermal breakdown) 在电场作用下，固体电介质因内部热量积累、温度过高而导致的，由绝缘状态突变为良导电状态的过程。

实际绝缘结构中，除了因电流通过导体而产生的热量将传送给固体电介质外，在电场作用下，固体电介

质本身也将因漏导和极化而发热。与此同时，固体电介质也要向四周散发热量，若发热量超过散热量，则固体电介质的温度将上升。由于固体电介质的损耗随温度上升而增加，因此发热量也随之增加。相应地，散热量也随固体电介质与周围环境温差的增加而增加。若在固体电介质能耐受的温度下，发热量与散热量相等，则建立起了热平衡，固体电介质正常工作；若发热量始终大于散热量，则固体电介质的温度不断上升，最终固体电介质发生碳化、熔化成开裂等现象，丧失绝缘性能，发生热击穿。

固体电介质的发热量 Q 与电压 U 及温度 t 有关，散热量 Q_s 与温差 $t-t_0$ （ t_0 为周围环境温度）有关，如



Q 、 Q_s 与 t 的关系

图所示，图中 $U_3 > U_2 > U_1$ 。当电压为 U_3 时，发热量始终大于散热量，不能建立热平衡，必然发生热击穿。当电压为 U_1 时，在温度为 t_1 时建立起了稳定的热平衡，不会发生热击穿。当电压为 U_2 时，虽然在温度为 t_2 时能建立起热平衡，但不稳定；温度略有升高，发热量即大于散热量，最终仍然发生热击穿。电压 U_2 是发生热击穿的临界电压。

影响热击穿电压的因素有：①周围环境温度。热击穿电压随周围环境温度上升而显著下降。②散热条件。加强散热可提高热击穿电压。③固体电介质的厚度。电介质厚度增加后散热困难，用加厚绝缘的方法来提高热击穿电压是不经济的，有时甚至是不可能的。④电压频率。频率越高，发热量越大，热击穿电压越低。⑤固体电介质本身特性。固体电介质的导热性越好，漏导和极化损耗及它们的温度系数越低，热击穿越不易发生。

（谈克雄）

reshidian cailiao

热释电材料 (pyroelectric materials) 具有自发极化特性的电介质。自发极化是指由于物质本身的结构在某个方向上正负电荷不重合而固有的极化。其自发极化只能出现在晶体的某几个特定晶向上。由于晶体温度均匀变化引起其表面荷电的现象称为热释电效应，其原因在于热释电晶体存在自发极化，其表面束缚电荷被晶体外部和内部的异号自由电荷所屏蔽，晶体不表现带电性质，当温度变化引起正、负离子相对位移，离子键的键长和键角发生改变，导致自发极化强度发生变化时，对外就产生热释电效应。晶体的这一性质称为热释电性。因此，晶体的热释电性实际上是

由于温度和熵等热力学量与电场强度和电位移（或极化强度）等电学量之间的耦合效应造成的。显然，应力也会改变离子间的距离和键角，使自发极化强度发生变化。只有存在唯一极轴的10种点群的介电晶体才存在自发极化（1, 2, m, 2mm, 4, 4mm, 3, 3m, 6, 6mm），其自发极化强度可能随外场反向而反转，也可能不随外场反向而反转。前者称为铁电体，后者称为非铁电性的热释电体。因此，铁电体仅是热释电体中的一个亚族，而热释电体又只是压电体的一个亚族，这样，热释电体必然具有压电效应。

很早就有电气石 $[(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{B}_3\text{Al}_3(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_9]$ 上观察到热释电效应，后来陆续发现了很多热释电材料，如硫酸三甘肽（TGS）等。

现在已知的热释电材料有上千种，但只研究了其中百分之十左右，而实用的不过十多种。主要有硫酸三甘肽（TGS）、锆钛酸铅（PLZT）、钛酸铅（ PbTiO_3 ）和聚合物薄膜（ PVF_2 ）等。

热释电材料目前主要是用来探测红外辐射，已经广泛地使用在各类辐射计、光谱仪、红外激光的探测和热成像管等方面。热释电材料现在用得最多的是TGS晶体，它具有大面积宽频率范围内灵敏度高的优点。PLZT和 PbTiO_3 应用在红外探测器上有相当大的潜力。

（余尚银）

resuxing suliao

热塑性塑料（thermoplastics）在特定温度范围内能反复地如热软化、冷却变硬，且在软化时能重复流动成型和能溶于一定溶剂中的一种塑料。若在有些热塑性塑料中加入交联剂或用辐照等处理，则也能转变为热固性塑料。

热塑性塑料有九大类：①乙烯基类。用量最大，以聚氯乙烯为代表，它是白色粉状树脂，以不同比例与增塑剂、稳定剂、填料、着色剂、润滑剂等混和后，可制成软质及硬质（无增塑剂）材料或制品。糊状树脂可作涂料等用。硬质制品长期使用温度通常为60℃；软质制品，因配方与工艺而异，约为60~150℃。软聚氯乙烯大量用于低压电力电缆、控制电缆、作为绝缘材料和护套材料，并可制成绝缘带。②聚烯烃类。用量也很大，以聚乙烯和聚丙烯为代表。聚乙烯为乳白色透明塑料，外观似石蜡，性坚韧，稍具延伸性，电气绝缘性能优良。有低密度、中密度和高密度之分，密度增加，则杨氏模量、拉伸强度、硬度、耐热及尺寸稳定性等均提高，但伸长率降低。长期使用温度视配方及工艺而异，为60~90℃。低密度聚乙烯可用作电力电缆绝缘，高密度聚乙烯用作电线绝缘。聚丙烯在一般塑料中比重最轻

（0.90），耐温120℃，刚性好，耐弯折，电气绝缘性能好，可作为电力电容器的电介质用。③苯乙烯类。以聚苯乙烯为代表，其吸水率低，尺寸稳定性好，电气绝缘性能优良，易加工，制品透明，但力学性能差，易脆裂，不宜户外使用，耐温76~93℃，可用作电气绝缘零件、线圈骨架等。还可与其它单体共聚得到多种改性塑料合金，从而大大改善力学性能，用作结构材料。④纤维素类。以醋酸纤维素塑料为代表。乙酰化度高的醋酸纤维素塑料耐水性好，可用作电绝缘制品。⑤丙烯酸酯类。以聚甲基丙烯酸酯为代表，俗称有机玻璃，透光性及耐气候性好，力学及电气绝缘性能一般，可用作仪器仪表外壳或面板。⑥酰胺类。俗称尼龙。机械强度高，电气绝缘性能一般，易吸水，尺寸稳定性差，用玻璃纤维增强后，力学性能、耐热性及尺寸稳定性可得到改善。尼龙66和尼龙610可用作绝缘零件；尼龙11、12及612可用作电线电缆护套。⑦含氟塑料类。以聚四氟乙烯和聚全氟乙丙烯为代表。耐热性很高，电气绝缘性能优良，可用作电线电缆绝缘。⑧聚醚酯类。聚酰亚胺是耐高温绝缘材料，用于H级耐热等级的电工产品，其耐辐照性能亦较好。⑨聚芳杂环类。具有突出的耐高温、耐低温和耐辐照特性，且具有优良的机械性能和电气绝缘性能。用于宇航领域作为绝缘零件、电线包覆层等。

热塑性塑料加工成型方便、生产效率高，特别是可以用挤出、压延、吹塑、注射等高效加工工艺成型，其应用范围十分广阔。发展方向是采用不同材料进行复合、共混，以达到改善性能、降低成本的目的。

（王寿泰）

rengong shenjing wangluo

人工神经网络（artificial neural network）

由称为神经元的基本处理单元互连而成的平行工作的复杂网络系统，简称神经网络。它的工作机制类似于生物神经系统，但决不是神经系统的结构仿真，仅是功能上的抽象和模拟。

神经网络的基本工作原理可简述如下：每个神经元是由一个计算单元构成，该单元具有多个输入和单个输出。其功能是对各个输入信号作非线性权值运算，并通过输出端扇出至其他神经元。整个网络工作过程分为训练和求解两个阶段。当已知的样本信号加到网络输入端时，网络的学习机制一遍又一遍地调整各神经元的权值，使其输出端达到预定的目标。这就是训练（学习、记忆）过程。当经过训练的网络进行问题求解时，输入的求解信号在网络内迅速地传递、处理。当网络达到稳定状态时，从输出端即可得到问题的解。

互连方式是神经网络的关键，可以通过神经元的

权值变化进行动态调整。网络的记忆容量取决于互连数目。工作速度由每秒钟信号传递的互连数目来表示。与传统的计算机相比较,神经网络具有工作上大规模的平行性,知识的分布性,功能上的容错性和结构上的自组织性等特点,因而适用于语音、图象等感知问题的求解及生产过程的控制。

神经网络按其构造形式可分为单层和多层两大类:①单层神经网络。输入层直接与输出层相连接。其特点为结构简单,便于实现,如霍普菲尔德网。②多层神经网络。输入层和输出层之间存在一层或多层中间层(称为隐藏层)。隐藏层的出现使网络工作机理复杂化,但功能加强,如BP网。

神经网络出现于20世纪40年代。在50~60年代曾得到一定的发展。其后受到M.明斯基(M. Minsky)等人所发表的《感知机》一文的否定而处于低谷。直到80年代由于大规模集成电路的高速发展等原因才又一次引起了科技界的广泛兴趣。目前它仍然处于初期发展阶段。网络的工程实现(新型元件、结构模式)及生物神经网络的机理深入探索仍是需要重点突破的两个方面。由于神经网络显示出新型智能结构及智能行为,它已成为神经生理学、心理学及计算机科学等许多学科综合性研究的领域,它的发展将对人工智能、认知心理及生物神经机制研究具有重要的意义。

(朱森良)

rengong zhineng

人工智能 (artificial intelligence) 研究理解智能行为的本质并构造具有这种智能能力的计算机系统的一门学科。

学科内容 可概括为智能的研究和工程性的研究两个方面。

智能的研究 人类表现有智能行为的活动有:问题求解、符号表达、语言、感知、学习和创造等。人工智能具有基础学科探索的一面,但它与也是研究这些现象的其他学科如心理学、语言学和哲学等的差别在于:它是利用计算机来进行实验模拟和研究。当提出一种关于揭示某种智能活动的新设想时,它是通过构造一个程序来进行考察和试验的。

工程性的研究 人工智能具有工程学科的一面,它要构造一些计算机应用系统,能够实现原来需要具有人的智能才能够完成的各种任务,得以更好地为人类服务。主要的应用领域有:

(1) 游戏。主要是下棋。好的计算机下棋程序已可使计算机与世界级棋手相匹敌。

(2) 机器定理证明和逻辑推理。利用计算机进行自动推理,已成为人工智能许多分支中一个公共的重

要技术。

(3) 专家系统。

(4) 自然语言处理。使计算机能懂得人的语言(声音的或文字的)含义,能将人的意思由计算机用人的声音或文字语言表达出来,也包括不同语种之间的翻译。

(5) 计算机视觉。使计算机从所接收到的景象中辨认其特殊目标、特性和模式并进一步对景象进行理解,即用符号描述它以供计算机处理。

(6) 智能机器人和智能控制。至今在生产中应用着的机器人大都由电子控制器或计算机按照预先编制好的程序来控制其动作的。智能机器人运用了人工智能技术,只要给定了目标任务,它就可以自行规划行动的细节;另一方面,每当其工作环境发生异常的变化时,它就能够自行采取相应的调整措施来适应其变化。这种自治的技术用于自动控制系统,即为智能控制。

(7) 设计的智能化与自动化。用计算机来辅助机械、建筑、电子等工程设计,辅助各种教学中的自学和辅助计算机软件本身的设计,这些工作都已有成效。人工智能技术的应用,将使这些设计过程进一步智能化,即自动化。

兴起、发展与演变 20世纪40年代后半期,在电子计算机的发明上作出过卓越理论贡献的一些学者如A. M. 图灵(A. M. Turing)、J. 诺伊曼(John Von Neumann)和C. E. 香农(C. E. Shannon)等都对于计算机除了数值计算外,还对能否使它进行思考、学习和自己修复故障等智能性活动作了探讨,并作出了肯定的预测。

到50年代中期,电子计算机已经被广泛地应用,因此有些科学家们开始着手实现人工智能的目标。在1956年当时还年轻但后来或为人工智能开创者的十名美国科学家,其中包括J. 麦卡锡(John McCarthy)、M. 明斯基(Marvin Minsky)、A. 纽厄尔(Allen Newell)和H. 西蒙(Herbert Simon),在Dartmouth学院举行了一个讨论会,首先提出了人工智能这一学科的名称。他们当时乐观地估计在25年以内,计算机几乎能做所有的工作。主导的信念是一些推理能力配上强大的计算机可以达到专家和超人的能力。由此研究的重点是建立强大的、普遍的问题求解方法和程序,并在一些智能性的问题上,例如下棋、定理证明等方面进行试验验证,取得了令人惊奇的成就。

当时人工智能解题主要依靠搜索的方法。解答一个问题,可以看作从当前状态出发,找到一条能够达到预期目标的路径。这一目标可以是下棋的胜局、一个定理的证明或机器人所要完成的某一任务等。传统程序

的方法,只有在达到这个目标的每一步骤都明确之后,才能根据其算法写出计算机程序。而搜索法并不需要事先了解解题的每一个步骤。它是对每一种可能的走步都进行尝试。但这种盲目的搜索经常走入死胡同,要走许多无效的回头路而效率低下。人工智能所改进的启发式搜索则是在启发式知识的引导下进行搜索,可以减少盲目性,大大提高搜索效率。

人工智能程序中所处理的对象不是数值,而是符号。A. 纽厄尔等在开发逻辑定理证明程序中创造了第一个表处理语言 IPL, 用于符号处理。J. 麦卡锡于 1958 年进一步创立了表处理语言 LISP。LISP 至今仍是研究人工智能的最主要的语言。

但直到 60 年代末,人工智能仅在解决一些构造得很好的小玩意式的问题上才表现良好。当用其去解复杂的实际问题时,都会碰到搜索量的爆炸式增长而超过当代计算机的能力。科学家们发现开发人工智能要比原先想象的难得多。E. A. 弗根鲍姆 (Edward A. Feigenbaum) 等另辟途径以摆脱困境,着手研究具有实用价值的“专家系统”。专家系统在 70 年代取得极大的成功,使人工智能再度被重视。由专家系统的成功实践得出结论:一个智能程序的性能水平基本上是由它所拥有的知识的数量和质量决定的。这种对知识的重视,也影响了人工智能中其他各个分支的研究。重视了对各自的应用领域知识进行表达和处理,并大量获取及使用。因此也使这些分支取得了新的进展。

直到现在,这些具有智能的计算机系统都是在通用计算机上通过配备各种特定的智能软件来实现的。因此,开发这种符号处理的智能软件成为人工智能工程方面的主要工作。由 80 年代起,开始研究能更好地执行各种智能程序的计算机系统——智能计算机,它的体系结构将突破传统的 J. 诺伊曼结构,因此也称为第五代计算机系统。

最近几年,由于超大规模集成电路所提供的条件,神经元两络经过二十多年的冷落以后,又成为人工智能研究的一个热点。人工神经元两络要模拟数以亿计的生物神经元及其相互之间的复杂连接,因此它的硬件和软件完全不同于现在的计算机系统。对于较小规模的人工神经元两络的研究和实验表明,它几乎可以承担所有上述的人工智能的大部分任务,而是吸引人之处是它的机制允许在使用中逐次地增强它的性能,有类似于学习的作用。

人工智能虽然目前已取得了不少成就,但距它所定下的目标还有很艰难的历程。常规软件、智能软件和人工神经网络各有所长,任何一个都还不能被取代,因此目前最好是把它们结合起来应用。

(何志均)

ronglu fenmo cailiao

熔敷粉末材料 (powder for coating) 由合成树脂、固化剂、填料和其他成分配制成的一种热固型固体粉末状绝缘材料。可以把它看作固体粉末状绝缘漆类。其特点是:在高于树脂熔化温度下能均匀地涂覆在工件表面,形成厚度均匀、平整光滑、粘结紧密的绝缘层。这种绝缘层导热性好、耐潮、耐腐蚀,可车削加工,应用方便,工艺简单。主要用于微电机铁芯槽绝缘和导线绝缘涂敷,也可以用于小型变压器、电器外壳和无线电元件的涂封等。电气绝缘熔敷粉末所用的合成树脂主要是环氧树脂和聚酯树脂。这两类树脂的工艺性能、深层附着力、电气绝缘性能较好,成本较低。环氧熔敷粉末的主要品种有普通高温粉、高温弹性环氧粉和低温环氧粉末。B 级的聚酯改性环氧粉末和 F 级的聚酯粉末也是常用的品种。应用熔敷粉末加工工件,多采用流化床或静电喷涂等工艺方法。

(刘桂云)

rongti cailiao

熔体材料 (materials of fuse elements)

制作熔断器的熔体及熔丝的材料。熔体材料可分为低熔点熔体材料和高熔点熔体材料两大类。低熔点熔体材料多数是选用按特殊比例组成的低熔点合金,也可用低熔点纯金属。高熔点材料一般均选用纯金属。

低熔点熔体材料 低熔点纯金属主要有,铅 (327℃)、锡 (232℃)、镉 (321℃)、铟 (156℃) 和铋 (271℃) 等。用这些材料可组成低熔点合金,是常用的是铅锡合金,成分为 70% 铅和 30% 锡,常用于分断小电流,制作熔丝及小功率工业设备和家用电器的保护熔断器的熔体。此外,锡铋铅镉铟合金 (赛璐合金)、锡铋铅合金 (牛顿合金)、铋锡合金 (赛切路合金) 等都是典型的低熔点合金。

高熔点熔体材料 按熔点高低排列次序为铜 (1083℃)、银 (961℃)、铝 (660℃)。铜熔体容易氧化,性能不稳定,只能用于对过载分断电流和分断速度要求不严格的场合。银熔体性能稳定,固态电阻率低,能制造体积小而分断电流大的熔断器,它的熔点和熔化潜热低于铜,汽化点和汽化潜热低于铜和铝,熔化后它的液态电阻温度系数高于铜和铝,因此熔化后能迅速汽化,达到快速分断的目的,所以是较理想的熔体材料。但由于银是贵金属,国外已开始转向以铝熔体代替银熔体。铝的主要缺点是固态电阻率偏大,使熔体体积增大;熔点低而汽化点高,使分断速度降低。由于铝表面的氧化薄膜有保护作用,因此铝熔体性能也较稳定。

利用冶金效应可使高熔点熔体的熔点降低,制造出过载分断电流大而准确的快速熔断器。具体做法举

例如：将低熔点金属（例如锡）粘附在高熔点熔体



高熔点熔体上布置冶金
效应点示意图

1—银熔体；2—锡点

（例如银）的某点，或相隔一定距离的某几点上，如图所示。当过载电流通过熔体时，低熔点金属锡开始熔化，并与银熔体产生冶金共熔作用，大约在 345℃（约为

银熔点温度的 36%）即能使此点全部熔化，达到产生电弧和分断电路的目的。

特殊熔断器的熔体 利用金属钠汽化温度低（885℃）、质软易变形等特点可制成自复熔断器的熔体。当线路过载时，钠迅速发热汽化而断路。当故障排除后，钠蒸气很快凝聚，适当施加外力即能复原。

跌落式高压熔断器的熔体通常是银铜合金丝，银和铜的比例是 4：6。

（黄嘉豫）

ruanci cailiao

软磁材料 (magnetically soft materials)

具有低矫顽力的磁性材料，亦称高导磁材料。在电力工业中用于制造电机、变压器等电器设备的铁芯。在电子工业中用于制造各种磁性元件，广泛应用于电视、广播和通信等方面。这类材料具有饱和磁通密度高、磁导率高、磁滞回线呈狭长形、面积小磁滞损耗小、剩磁及矫顽力小等特性。用于交流场合时要求涡流损耗及磁滞损耗小。常用的有纯铁、低碳钢、硅钢片、坡莫合金、铁氧体等。

(1) 纯铁、低碳钢：磁导率高、加工性能好。但涡流损失大，只宜用于直流铁芯。

(2) 硅钢片、硅钢带：电阻率高，涡流损耗小。但质脆、加工性能差。片状叠合或卷成环状使用，片间浸绝缘漆或形成氧化层以减小涡流损耗。

(3) 坡莫合金：铁镍合金的统称，具有很高的磁导率。用于精密仪表、记录磁头等或要求体积小的场合。

(4) 铁氧体：以 Fe_2O_3 为主要成分，掺合 Mn-Zn 或 Ni-Zn 等，用粉末冶金法压制成锰锌铁氧体或镍锌铁氧体，其电阻率高，高频损耗小，前者用于 1MHz 以下，后者用于微波频率。工作频率越高则其磁导率越低。铁氧体属于亚铁磁性材料，磁导率低于铁磁材料。

（黄嘉豫）

ruanjian gongcheng

软件工程 (software engineering) 用工程方法与工程途径研制、维护和管理软件的过程和有

关技术。软件研制由四个阶段组成：①软件开发计划和需求定义；②软件设计，包括概要设计和详细设计；③软件实现，即编制程序；④软件测试。软件维护指使用过程中对已有软件的修改、完善。软件管理是指对软件研制和维护过程的管理。

产生背景 由于软件的研制、维护和管理本身是工程性任务，而软件技术到 20 世纪 60 年代中期，还是处于类似于“手艺”阶段而不是采用工程化的方式。于是出现了软件质和量方面的高需求与生产率低、可靠性差之间的突出矛盾，即产生了所谓“软件危机”。面对这种情况，人们开始考虑用工程的方法和途径来研制、维护和管理软件，以保证质量，降低成本，提高生产率，于是在 1968 年提出了软件工程这个概念。

基本内容 软件工程研究的内容主要有：软件研制和维护的方法与技术；工具系统、支援环境、文件和用户界面的设计；质量保证和质量评价；软件管理等。

软件生存周期 软件产品从形成概念开始，经过开发、使用和不断增补修订，直至最后被淘汰的整个过程。一个软件产品的生存周期可划分成若干个互相区别而又有联系的阶段。每一阶段的工作均以前一阶段工作的结果为依据，并作为下一阶段工作的前提。中国国家标准 GB8566—88《计算机软件开发规范》中，把软件生存周期划分为以下八个阶段：①可行性研究与分析；②需求分析；③概要设计；④详细设计；⑤实现；⑥组装测试；⑦确认测试；⑧使用与维护。

软件研制和维护的方法与技术 需求定义分析和记述用户的要求，是研制软件的基础和依据，需求定义技术在软件工程中占有重要地位。软件设计把需求定义“翻译”成软件的一种表示形式。其概要设计是根据软件需求、信息流和信息结构以构造各组成模块之间的关系。详细设计则进一步把模块元素变成详细的过程描述，以提供软件实现阶段进行具体的编程。测试阶段通过精心选择的测试数据，观察程序执行的结果是否与预期的结果相符。测试工作能发现程序中的一部分错误，提高程序正常工作的置信度，但不能据此证明程序的正确性。通过了测试的程序中仍可能有遗留的错误，这将在运行和维护阶段解决。维护可分为校正性维护、适应性维护、完善性维护和预防性维护等。

在软件研制和维护过程中，文件起着重要的作用。这里所说的文件是指与程序研制及使用维护有关的资料，它记载着软件工程各阶段产生的规格说明，各种决策及其依据等，使软件研制与维护有章可循，有据可查。文件的标准化、形式化和文件的自动管理也是软件工程研究的课题。

软件支援环境 在宿主硬、软件基础上，用于支

援其他软件研制和维护的一组软件。早期的软件工具仅能支援实现编程、测试阶段的某些工作。完备的软件支援环境应为软件工程所有各阶段工作提供适当的整体化的环境,包括环境数据库、软件工具组、接口软件等。

软件质量和质量评价技术 评价软件质量的指标包括可靠性、效率、易使用性、易维护性、易移植性等。①可靠性指在一定的时间内软件在多次执行中不失败的概率。②效率指包括时间、空间等所有系统资源的有效利用程度。③易使用性表示系统能提供良好的用户界面,用户易学易用。④易维护性包括易理解性、易修改性和易测试性。易理解性表示所研制的软件易为研制者及他人所理解;易修改性表示容易修正、更新和扩充软件系统;易测试性是指便于测试一个程序的执行过程以寻找遗留的错误。⑤易移植性指易于将软件从一种环境移植到另一种环境。

质量评价技术就是对软件质量各种特性指标进行评价的技术。

软件管理 软件研制和维护过程的管理。它包括进度管理、成本管理、质量管理、人员管理、标准化管理等。其基本目的是在给定的研制和维护费用及工程限期内,研制出符合用户要求的软件系统。软件管理贯穿于软件工程各个阶段。

发展趋势 软件工程始于20世纪60年代末,目前正在不断发展。展望未来,软件工程与人工智能相结合将促进软件产品智能化。软件的工程化与形式化相结合将促进软件生产自动化。软件工程与计算机系统结构、超大规模集成电路技术相结合,研究新颖体系结构将促进计算机整个体系结构的根本变革。这些都是当前软件工程发展的重要趋势。此外,软件工程还应与管理工程、心理学、社会学、经济学等结合,在计算机系统工程范畴内逐渐成为更成熟的工程技术学科。

参考书目

Sommerville, I. Software Engineering. London: Addison-Wesley, 1982

(叶澄清)

S

sanbeipin shiyan zhuangzhi

三倍频试验装置 (AC testing equipment with triple power-frequency)

变压器类试品在 150Hz 频率下进行感应耐压试验的电源装置。电力系统中的电力变压器以及电压互感器,在大修更换绝缘之后或新变压器在变电所安装后,为了考验它们的匝间、层间、段间纵绝缘以及中性点半绝缘变压器的主绝缘,常需进行现场感应耐压试验。对于电压为 220 kV 及以上的电力变压器,还需在升高一定倍数的额定相电压下进行局部放电量的测量。上述两类试验的试验电压比额定电压高。为了避免被试变压器励磁电流增大,感应加压时,升高电源频率是必要的。频率值可为 50 Hz 的倍数,如 100、150、200、250 Hz 等。现场试验较多采用 150 Hz,因为除了有条件用倍频发电机作电源的情况之外,经常采用三台单相变压器组成三倍频的试验装置。

根据变压器的基本原理,当三台单相变压器一次侧接成星形,二次侧接成开口三角形,在一次侧施加较大的励磁电流,使铁芯饱和,在二次侧开口三角形的两端便可获得三倍于电源频率的电压。因为铁芯饱和后,铁芯内磁通含有三次谐波分量,在每相二次绕组便感应出相应的三次谐波电动势分量 \dot{E}_3 。三次谐波电动势在三个相绕组里是同相的,所以开口三角形绕组端子上会出现一个等于 $3\dot{E}_3$ 的电压。此时基波电动势由于三相的相位互差 120° ,三相电动势的相量和为零,故二次侧仅输出三倍频的电压。

上述方法所产生的电压不可能很高,而且电压还需要调节,所以要经过调压器和升压变压器加到被试变压器的低压侧,然后利用被试变压器自感应在其高压侧获得一定的高电压。

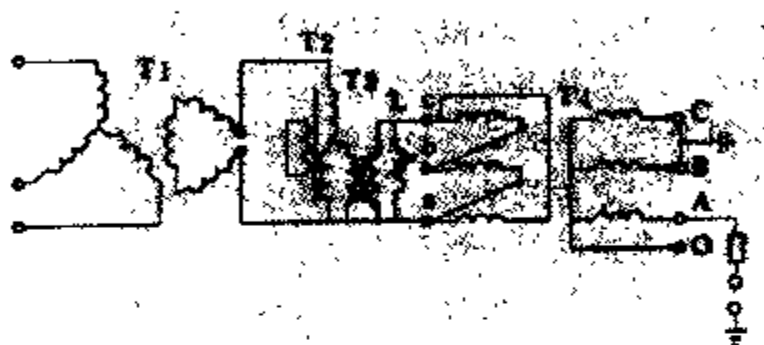
图中示出了电力变压器进行三倍频感应耐压试验的接线图例。

图中以被试变压器试验 A 相绕组的绝缘为例,此时 B、C 两相绕组用于产生“支撑电压”。

额定电压 220 kV 及以上的电力变压器进行感应耐压试验时,大多呈现较大的电容性负载,为此常如

图所示并接一个补偿电感 L,它可以由消弧线圈、空载或短路变压器、电抗器等构成。三倍频试验装置在开口三角侧的输出功率的功率因数应补偿到大于或等于 0.8。

进行试验前应对试验设备的容量有一估量。进行试验时要分别通过互感器监视各处的电压和电流值,以免超过试验设备的容量和产生过电压。并注意防止铁磁谐振过电压的产生。被试点的电压一般通过电容式分压器测量。在无风及湿度不过大的条件下,可以用铜球来限制过电压。



三倍频感应高电压试验接线之一例

T1—三倍频发生器; T2—调压器; T3—升压变压器;
T4—被试变压器

为进行被试变压器局部放电量的测试而专门设计的三倍频试验装置,除应满足试验容量的要求外,其本身的局部放电量也应限制在一定值内。

与倍频发电机相比,上述的三倍频试验装置的优点是:主设备由三台单相变压器和一台调压器组成,运输及装卸相对比较容易;由于是静止电器,工作时噪声不大,稳定可靠,维护容易。其缺点是:过励磁太甚时,波形含有九次谐波分量;一般情况下,不如倍频发电机所产生的波形符合标准要求。

(陈昌淦)

sanxiang dianlu gongli

三相电路功率 (power of three-phase circuit)

三相电路的总功率。它等于各相功率的总和。三相电路有对称三相电路和不对称三相电路之分,功率有平均功率(即有功功率)、无功功率和视在功率之分。

不对称三相电路功率

平均功率

$$P = P_A + P_B + P_C \\ = U_{pA} I_{pA} \cos \varphi_A + U_{pB} I_{pB} \cos \varphi_B + U_{pC} I_{pC} \cos \varphi_C$$

无功功率

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C \\ = U_{pA} I_{pA} \sin \varphi_A + U_{pB} I_{pB} \sin \varphi_B + U_{pC} I_{pC} \sin \varphi_C$$

视在功率

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

式中 φ_A 、 φ_B 、 φ_C 分别是 A 相、B 相和 C 相负载的阻抗角，下标“p”表示“相”。 P_A 为 A 相负载平均功率， Q_A 为 A 相负载的无功功率， U_{pA} 为 A 相电压， I_{pA} 为 A 相电流，余类推。（见平均功率、无功功率、视在功率）。

对称三相电路功率

$$\text{平均功率} \quad P = 3U_p I_p \cos \varphi = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

$$\text{无功功率} \quad Q = 3U_p I_p \sin \varphi = \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$$

$$\text{视在功率} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_l I_l$$

式中 φ 是每相负载的阻抗角，下标“l”表示“线”。这种情况下，三相负载的功率因数： $P/S = \cos \varphi$ （见“功率因数”）。

三相负载的瞬时功率 等于三相中各相负载瞬时功率的总和。设对称三相负载的 A 相相电压的初相角为零，A 相、B 相和 C 相的瞬时功率分别为

$$p_A = u_{pA} i_{pA} = \sqrt{2} U_p \sin \omega t \sqrt{2} I_p \sin (\omega t - \varphi) \\ = U_p I_p \cos \varphi - U_p I_p \cos (2\omega t - \varphi)$$

$$p_B = u_{pB} i_{pB} = \sqrt{2} U_p \sin (\omega t - 120^\circ) \sqrt{2} I_p \sin (\omega t - 120^\circ - \varphi) \\ = U_p I_p \cos \varphi - U_p I_p \cos (2\omega t - 240^\circ - \varphi)$$

$$p_C = u_{pC} i_{pC} = \sqrt{2} U_p \sin (\omega t - 240^\circ) \sqrt{2} I_p \sin (\omega t - 240^\circ - \varphi) \\ = U_p I_p \cos \varphi - U_p I_p \cos (2\omega t - 480^\circ - \varphi)$$

三相负载的瞬时功率 $p = p_A + p_B + p_C = 3U_p I_p \cos \varphi = P$ 。可见，对称三相电路中三相负载的瞬时功率是一个与时间无关的定值，就等于平均功率 P 。若负载是三相电动机，由于它的瞬时功率不随时间改变，它的瞬时转矩亦是恒定的。故电动机运行平稳，这正是对称三相电路的一个优点。三相瞬时功率为恒定的三相制叫做平衡三相制。

（范丽娟）

sānxiāng diànyuán

三相电源 (three-phase sources) 能同时提供三个频率相同而初相位互异的电源。三相发电机就是一种常用的三相电源。

三相同步发电机的工作原理 图 1 是两极三相同步发电机的示意图。其中，AX、BY 和 CZ 是一个完全一样而彼此间隔 120° 的定子绕组，分别称为 A 相、B 相和 C 相绕组。A、B、C 是各绕组的始端，X、Y、Z 是各绕组的末端。直流电流通过转子绕组，转子被磁化成一极对磁极。当转子以角速度 ω 匀速作顺时针旋转时，在相绕组 AX、BY 和 CZ 中分别感应出正弦电动

势 e_A 、 e_B 和 e_C ，它们分别称为 A 相、B 相和 C 相电动势。这一组三相电动势的振幅（或有效值）相同，角频率均为 ω 。若设每一相电动势的参考方向都规定由相绕组的末端指向始端，则在相位上 e_B 要比 e_A 滞后 120° ， e_C 又比 e_B 滞后 120° 。三相电动势的瞬时值的表示式为

$$e_A = \sqrt{2} E \sin \omega t, \quad e_B = \sqrt{2} E \sin (\omega t - 120^\circ), \\ e_C = \sqrt{2} E \sin (\omega t - 240^\circ)$$

它们的相量表示式为

$$\dot{E}_A = E \angle 0^\circ, \quad \dot{E}_B = E \angle -120^\circ, \quad \dot{E}_C = E \angle -240^\circ$$

图 2 (a) 和 (b) 分别是这一组三相电动势的波形图和相量图。

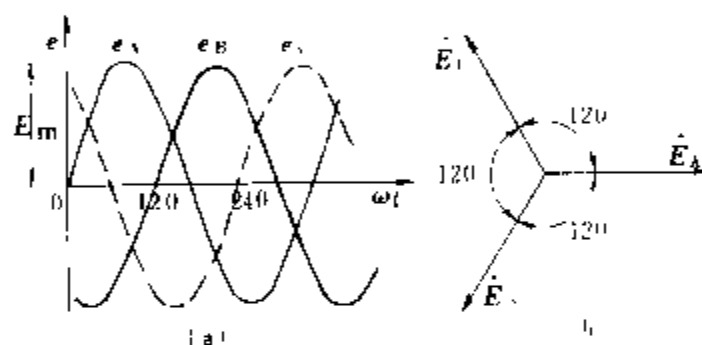


图 2 三相电动势的波形图和相量图
(a) 波形图；(b) 相量图

相序 电动势 e_A 、 e_B 和 e_C 通过具有相同斜率同一值（例如通过正最大值）的次序。如图 2 (a) 中，最先通过正最大值的是 e_A ，其次是 e_B ，再其次是 e_C ，故相序为 A—B—C，称为正序。如果三相电动势通过正最大值的次序 A—C—B，则相序为负序。通常，三相电动势的相序都是正序。

相绕组的连接方式 三相电源的相绕组有两种基本接法：星形连接（Y 形连接）和三角形连接（ Δ 形连接）。把三个相绕组的末端连在一起，成为公共节点 N，而始端 A、B、C 则分别与端线（传输线）相接，这便是星形连接。N 称为电源的中性点，见图 3 (a)。若将每一相绕组的末端与它紧邻的后一相相绕组的始端相

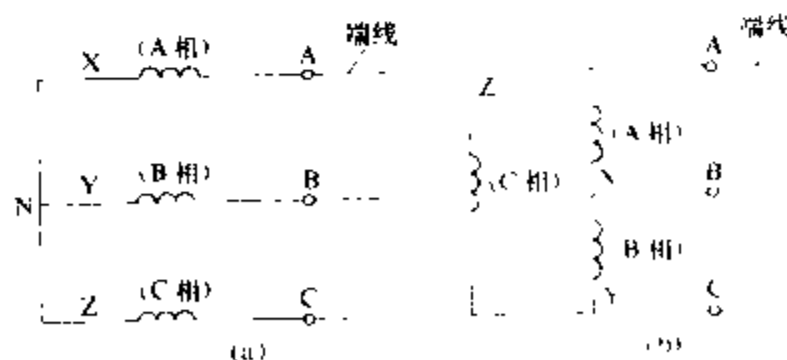


图 3 三相电源的连接方式
(a) 星形连接；(b) 三角形连接

连后,再将 A、B、C 分别与端线相接,这就是三角形连接,见图 3 (b)。

星形连接的三相电源简称为星形电源,三角形连接的三相电源简称为三角形电源。

相绕组中的感应电动势用电压源反映,考虑到相绕组有阻抗,故星形电源和三角形电源的等效电路图如图 4 (a)、(b) 所示。

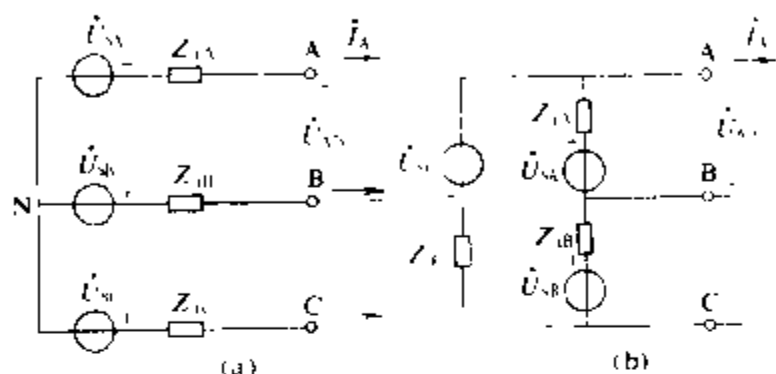


图 4 星形电源和三角形电源的等效电路图
(a) 星形电源; (b) 三角形电源

对称三相电源和不对称三相电源 若三相电源同时满足:①各相电压的有效值(或振幅)相等;②相邻两相的相位互差 120° ,则三相电源称为对称三相电源。对称三相电源的三相电压瞬时值之和为零,即 $u_{sA} + u_{sB} + u_{sC} = 0$,若用相量表示则有 $\dot{U}_{sA} + \dot{U}_{sB} + \dot{U}_{sC} = 0$ 。

不能同时满足上述两个条件的三相电源称为不对称三相电源。

(范丽娟)

sanxiang fuzai

三相负载 (three-phase loads) 连接成三角形或星形由三相电源供电的负载。三相负载有对称三相负载和不对称三相负载之分。

对称三相负载和不对称三相负载 将三个相同的二端元件例如三个相同的阻抗接成三角形或星形后,接到三相电源,这三个阻抗就构成对称三相负载。若这三个阻抗不都相等,它们构成不对称三相负载。在图 1、图 2 所示电路中,若阻抗 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 满足条件

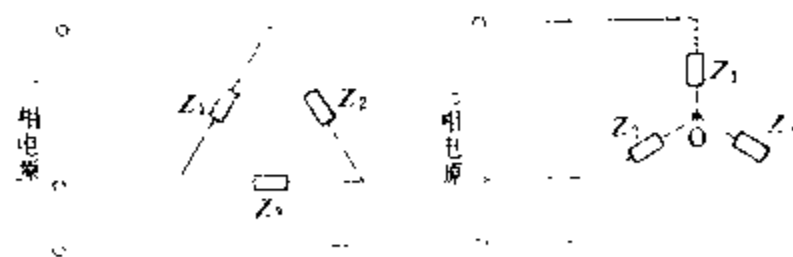


图 1 三角形三相负载 图 2 星形三相负载

$Z_1 = Z_2 = Z_3$,则负载是对称三相负载,否则是不对称三相负载。图 2 中,星形负载的 O 点,称负载的中性点。从电力系统的运行角度说,总是希望三相负载是对称

的或接近对称的。三相同步或异步电动机是常见的对称三相负载。

单相负载 将一个或多个阻抗接在三相电源的两条线之间,这阻抗称单相负载,见图 3。单相负载也可以看成是一种特殊的不对称三相负载。电力机车是典型的单相负载。为了保证三相的负载达到基本平衡,通常将各单相负载均匀地连接于三相之间。

(肖达川)

sanlie suanfa

散列算法 (hashing algorithms) 一种建表和查表的算法。设表中元素取自集合 U ,采用散列法建表的方法是:构造一个映射 h ,使 $U \rightarrow (0, 1, \dots, b-1)$ 。建立一个大小为 b 的数组 HT,称为散列表, $h(a)$ 即为元素 $a \in U$ 存放在散列表中的地址(数组元素下标)。

散列法常用于 U 很大而 b 较小且动态建表的场合。例如在 FORTRAN 语言中大约有 1.62×10^9 个可能的标识符,而在一特定程序中使用的标识符仅为几十至几百个,可依此确定散列表的大小。显然, h 可能会将 U 中不同元素映射到同一地址,从而产生冲突。解决冲突的方法通常有两种:①链表:HT 的数组元素是指向链表的指针,具有相同映射值的元素置于同一地址的链表中;②使用一映射序列,若地址 $h(a)$ 已有元素存在其中,则顺次计算其他映射,直至可存放为止。若整个散列表已存满,再存放元素时就要产生溢出,此时可使用再散列技术把表扩大。

散列函数即映射 h 。对它的主要要求是 U 中元素能比较均匀地分布在数组中。选择适当的正整数 M (例如素数), $h(a) = a \bmod M$ 就是一种简单而有效的散列函数。

删除表中元素是建表的逆过程。采用散列技术可以缩短查表时间。

(陈增武)

shangluo shiyan

闪络试验 (flashover tests) 对某一绝缘结构按规定的条件和方式施加电压直至在气体或液体电介质中沿绝缘表面发生贯通性放电的试验。闪络可能只引起电气强度的暂时丧失。在压缩空气、六氟化硫等气体和绝缘油中发生沿面放电时,如放电通道深入到固体绝缘内部,绝缘不再是自恢复性的。

闪络试验主要应用于绝缘子类产品在空气中进行

试验。按试验时绝缘子表面状况的不同可分为干、湿和污秽闪络试验三种；按施加电压性质的不同可分为直流、工频、操作冲击和雷电冲击闪络试验四种。

(1) 绝缘子干闪络试验：在试品干燥和清洁的状态下，按规定条件进行的试验。它是考核户内绝缘子性能的主要试验。对户外绝缘子，也常以工频干试验作为例行试验。

(2) 绝缘子湿闪络试验：在试品处于人造雨下，按规定条件进行的试验。它是考核户外绝缘子性能的主要试验。中国国家标准 GB311.2—83《高电压试验技术》对人造雨有如下规定：雨水的体积电阻率应为 $100 \pm 15 \Omega \cdot m$ (20℃时)；试验时雨滴应细小均匀而非雾状或连续水流，降雨方向应与水平面近似成 45° 角；降雨率的垂直与水平分量均为 $1.0 \sim 1.5 \text{ mm/min}$ 。

(3) 直流闪络试验：仅用于工作电压为直流的绝缘结构。直流电压下绝缘表面没有明显的滑闪放电现象。当直流电压有很大的脉动或者电压突然有变化时，有可能产生滑闪放电。直流电压下作湿试验时，淋雨表面的不均匀性对闪络电压的影响很大。

(4) 工频闪络试验：最常用的试验。当被试品有极不均匀电场并具有强垂直分量时（例如套管），随电压升高可能出现沿面滑闪放电。绝缘子在淋雨时的工频闪络电压与绝缘子外形尺寸和伞形有密切关系。

(5) 雷电冲击闪络试验：用视在波前时间和视在半峰值时间分别为 $1.2 \mu s$ 和 $50 \mu s$ 的雷电冲击电压标准波形进行的试验。因正极性的闪络电压通常低于负极性的，因此试验多采用正极性冲击电压。雷电冲击闪络电压主要取决于两电极之间的闪络距离，淋雨下的闪络电压和干试验时基本相同。

(6) 操作冲击闪络试验：仅对 330kV 及以上的产品或绝缘子串进行。在大多数情况下正极性的闪络电压低于负极性的，试验多采用正极性的进行。操作冲击闪络电压和电压波形有很大关系。操作冲击电压标准波形的波前和半峰值时间分别为 $250 \mu s$ 和 $2500 \mu s$ 。操作冲击电压下淋雨状态的闪络电压通常低于干状态的，下降的程度随绝缘结构、施加波形而异。

(7) 污秽闪络试验：见绝缘子污秽放电试验。

参考书目

朱德恒、严璋主编，高电压绝缘，北京：清华大学出版社，1992

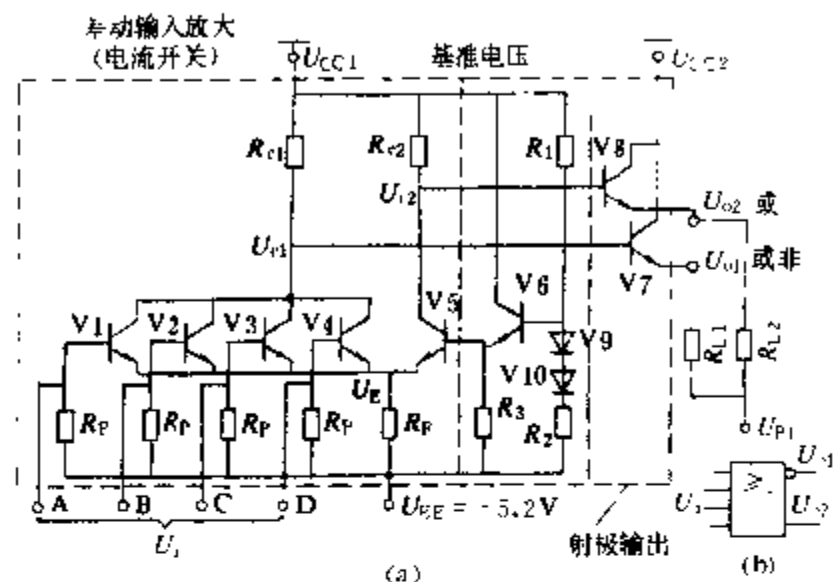
(王乃庆)

sheji ouhe luojimen

射极耦合逻辑门 (emitter coupled logic gate) 以多个晶体管的发射极相互耦合而组成的非饱和型逻辑门电路，简称 ECL 电路。电路中的晶

体管只工作在截止和放大状态，它的开关速度极高，平均传输时间 (t_{pd}) 约为 $1 \sim 2 \text{ ns}$ 。

图中为典型的 ECL 或/或非门电路图和逻辑符号。这个电路可按图中的虚线划分为三部分：差动输入放大（电流开关），基准电压和射极输出电路。



ECL 或/或非门电路

(a) 电路；(b) 逻辑符号

电路的工作情况如下：假定 $U_{EE} = -5.2 \text{ V}$ ， U_{CC1} 及 U_{CC2} 接地。从 V6 的发射极输出基准电压为 $U_B = -1.3 \text{ V}$ ，输入信号的高电平为 $U_{H1} = -0.92 \text{ V}$ ，低电平为 $U_{L1} = -1.75 \text{ V}$ 。

当所有输入端全部接到低电平时，则 V1~V4 的基极电平都是 -1.75 V ；而 V5 的基极电平较高为 -1.3 V ，所以 V5 导通。并且

$$U_E = U_B - U_{BE5} = -1.3 - 0.77 = -2.07 \text{ (V)}$$

从而 V1~V5 的发射极电位 U_E 被箝在 -2.07 V ，于是 V1~V4 的发射结压降只剩下 0.32 V ，故 V1~V4 全都截止。这时 U_{C1} 为高电平， U_{C2} 为低电平。

反之，当输入端的任何一个（假定为 A）变为高电平，则 V1 的基极电平为 -0.92 V ，高于 U_B ，V1 导通。在 V1 导通后将有

$$U_E = U_{i1} - U_{BE1} = -0.92 - 0.77 = -1.69 \text{ (V)}$$

所以 U_E 被箝在 -1.69 V ，这时 V5 发射结上的压降仅有 0.4 V 左右，故 V5 截止。于是 U_{C1} 为低电平，而 U_{C2} 为高电平。

由于 V1~V4 的发射极和集电极是分别并联到一起的，所以只要 V1~V4 当中有一个以上的输入为高电平，都会使 U_{C1} 为低电平而 U_{C2} 为高电平。因此， U_{C1} 与输入信号之间的关系为正逻辑的“或非”， U_{C2} 与输入信号之间的关系为正逻辑“或”。

射极输出电路由 V7、V8 管组成。它不仅是电路的驱动器，而且还起电平偏移的作用，以利于与同类门的电平相配合。

ECL 电路的优点是：工作速度快，负载能力强，可

实现“线或”逻辑,故在大型、高速计算机中得到了广泛应用。它的缺点是:功耗大,噪声容限低,即抗干扰能力低。

(汤之璋)

shenhua jia

砷化镓 (gallium arsenide) 一种化合物半导体材料,分子式GaAs。立方晶系闪锌矿结构,即由As和Ga两种原子各自组成面心立方晶格套构而成的复式晶格,其晶格常数是 5.6419Å 。室温下禁带宽度 1.428eV ,是直接带隙半导体,熔点 1238°C ,质量密度 5.307g/cm^3 ,介电常数13.18。砷化镓单晶的导带为双能谷结构,其最低能谷位于第一布里渊区中心,电子有效质量是 $0.068m_0$ (m_0 为电子质量,见载流子),次低能谷位于 $\langle 100 \rangle$ 方向,电子有效质量为 $1.2m_0$,价带顶约位于布里渊区中心,价带中轻空穴和重空穴的有效质量分别为 $0.082m_0$ 和 $0.45m_0$ 。较纯砷化镓晶体的电子和空穴迁移率分别为 $8000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 和 $100\sim 300\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$,少数载流子寿命为 $10^{-2}\sim 10^{-3}\mu\text{s}$ 。在其中掺入Ⅵ族元素Te、Se、S等或Ⅲ族元素Si,可获得N型半导体,掺入Ⅱ族元素Be、Zn等可制得P型半导体,掺入Cr或提高纯度可制成电阻率高达 $10^7\sim 10^8\Omega\cdot\text{cm}$ 的半绝缘材料。由于GaAs具有很高的电子迁移率,故可用于制备高速或微波半导体器件。砷化镓还用于制作耐高温、抗辐照或低噪声器件,以及近红外发光和激光器件,也用于作光电阴极材料等。更重要的是它将成为今后发展超高速半导体集成电路的基础材料。制备GaAs单晶的方法有区熔法和液封直拉法。用扩散、离子注入、汽相或液相外延及蒸发等方法可制成PN结、异质结、肖特基结和欧姆接触等。近十余年来,由于分子束外延和金属有机化学汽相沉积(MOCVD)技术的发展,可在GaAs单晶衬底上制备异质结和超晶格结构,已用这些结构制成了新型半导体器件如高电子迁移率晶体管(HEMT)、异质结双极型晶体管(HBT)及激光器等,为GaAs材料的应用开发了更广阔的前景。

(罗晋生)

shengci

剩磁 (remanent magnetism) 将铁磁体磁化到饱和状态后再逐渐减小外磁场到零时,铁磁体内所保留的磁感应强度,其全称为剩余磁感应强度。在磁滞回线上对应于 $H=0$, $B=\pm B_r$ 两点。

剩磁 广泛应用于制造永久磁钢(见永磁材料)。但在制造电机、电器铁芯时,应使剩磁尽量小。

剩磁机理 外磁场撤消后,铁磁体内部的磁畴(见

磁畴与畴壁)并未恢复到原来(未磁化)的混乱排列状态,导致剩磁。影响剩磁的因素有:

(1) 温度。剩磁随温度的上升而减弱,在一定的温度范围内可用剩磁的温度系数来表示。这种温度系数除与材料特性有关外,也和形状尺寸有关。

(2) 机械冲击。受冲击会使剩磁减弱,甚至完全消失。原因是强烈的机械震动促使磁畴趋于混乱排列。

(3) 时效变化。热运动有使磁畴排列趋于混乱的趋势。特别是刚充磁的材料尚处于亚稳态,剩磁衰退较快,直至过渡到稳态后才转为缓慢衰退。通常以充磁后100s的剩磁和充磁后10s的剩磁的比值,来表示时效变化。

矫顽力 饱和磁滞回线和 H 轴的交点 $\pm H_c$ 称为矫顽力,是衡量退磁难易程度的物理量。

(黄嘉骅)

shimin dianzu cailiao

湿敏电阻材料 (humidity sensitive resistance materials) 对湿度敏感的电阻材料。这些材料具有可将湿度这一物理量转换成电信号的功能,它是利用与湿度有关的电阻(或电导)随湿度变化而实现这种功能。

氯化锂是最早发现的湿敏材料。1938年F. W. 邓莫尔(F. W. Dunmore)首先制成氯化锂柱状湿敏器件。随后,各种类型的湿敏材料和器件相继问世。但迄今为止,用这些材料制成的湿敏器件,性能都还不太理想。

湿敏电阻材料主要有电解质、有机聚合物和半导体陶瓷三类。电解质材料主要是氯化锂,其感湿性较好、响应时间短,但检测的范围窄、重现性不理想、寿命短。有机聚合物主要有羟乙基纤维素碳湿敏材料和聚苯乙烯磺酸锂等。这种材料的感湿性能好、响应快,但稳定性不好、抗沾污能力弱。半导体陶瓷主要有 Fe_3O_4 、 MgCr_2O_4 - TiO_2 系、 TiO_2 - V_2O_5 系、 ZnO - Li_2O - V_2O_5 系、 ZnO - Cr_2O_3 系等。它们的稳定性较好、寿命长、响应时间短、测量范围宽,但材料固有电阻大、测量准确度不高。

氯化锂湿敏器件用于气象探测和高空遥测,量程 $15\%\sim 95\%\text{RH}$ (多个组合后),工作温度范围 $-40\sim 55^\circ\text{C}$,准确度 $\pm 2\%\text{RH}$,灵敏度 $0.25\%\text{RH}$,响应时间40s至3min。这种器件不适于低、高湿环境,应避免在 $95\%\text{RH}$ 以上环境下使用。有机聚合物羟乙基纤维素碳湿敏器件的量程为 $0\sim 100\%\text{RH}$,工作温度 $-20\sim 80^\circ\text{C}$,响应时间5s至2min,准确度 $\pm 3\%\text{RH}$,适于在固态换能器中使用。半导体陶瓷湿敏器件有膜型(Fe_3O_4 等)和烧结型(MgCr_2O_4 - TiO_2 系等)。 Fe_3O_4

湿敏器件体积小、性能较稳定、再现性好,量程为30%~98%RH,工作温度5~40℃,准确度±6%RH,响应时间1~3 min。这种器件不可在高温下使用。 $\text{MgCr}_2\text{O}_4 - \text{TiO}_2$ 湿敏器件体积小,量程1%~100%RH,工作温度1~150℃,响应时间<10s,准确度±3%RH,用于自动烤炉、空调机、漏气监控等方面。现有湿敏器件绝大部分都不宜在直流或脉动直流电路中工作,应注意器件的温度特性或对测量电路进行温度补偿。

发展趋势是:研制和开发检测寿命长、再现性好、可靠性高的湿敏器件及其材料;发展能在高、低温下检测和控制低、高温场所的器件和材料;开发受环境污染影响小的湿度传感器材料。此外,还需发展气-湿、热-湿等多功能敏感电阻材料。

参考书目

康昌鹤等. 气、湿敏器件及其应用. 北京: 科学出版社, 1988

莫以豪等. 半导体陶瓷及其敏感元件. 上海: 上海科学技术出版社, 1983

(孟中岩 吕乃康)

shiying jingti

石英晶体 (quartz crystal) 见晶体振荡器。

shibian diancichang

时变电磁场 (time dependent electromagnetic field; time-varying electromagnetic field) 场量随时间变化的电磁场。电场的场量随时间变化时伴随有磁场,磁场的场量随时间变化时伴随有电场。电场与磁场两者相互依存,互为因果,形成统一的电磁场。静电场或静磁场是能够独立存在的,这是静态场和时变场的重要区别。某处的电场或磁场一旦随时间变化,就将以波的形式向四周传播,形成电磁波。时变电磁场的基本方程组是麦克斯韦方程组和本构方程组。

和自然界的物质一样,电磁场具有能量、动量和质量,它是一种特殊形式的物质。

电磁场的能量 各向同性的线性媒质中电场能量密度 w_e 与磁场能量密度 w_m 分别为

$$w_e = \frac{1}{2} D \cdot E, w_m = \frac{1}{2} B \cdot H$$

式中 D 为电位移矢量; E 为电场强度; B 为磁感应强度; H 为磁场强度。在时变电磁场中,它们均随时间而变化。根据能量守恒原理,自然伴随有能量的流动。

坡印廷矢量 S ($S = E \times H$) 在闭合面 A 上的面积分 $\oint_A S \cdot dA$ 代表单位时间内由该闭合面 A 内向外传

播的能量,即能流。坡印廷矢量则代表单位时间内在单位面积上由内向外传播的能量,即能流面密度。在无线电工程中常用它来分析天线的辐射能量或辐射功率。

电磁场的动量 单位体积内的电磁动量或电磁动量密度 g 为

$$g = D \times B$$

电磁场的辐射力 电磁动量的时间变化率,表现为辐射力 F_R , 其值为

$$F_R = \frac{\partial}{\partial t} \int_V D \times B dV$$

辐射力的容积密度 f_R 为

$$f_R = \partial g / \partial t$$

辐射力已由列别捷夫光压实验所证明。

(马信山)

shibian xitong

时变系统 (time-varying system) 状态空间表达式中矩阵 A 、 B 、 C 和 D 的元素全部或部分随时间 t 的函数的控制系统。

线性连续时变控制系统的状态空间表达式为

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x + B(t)u \\ y &= C(t)x + D(t)u \end{aligned} \right\} t \in [t_0, t_a] \quad (1)$$

式中 x 为 n 维状态向量, u 为 p 维输入向量, y 为 q 维输出向量。如果在所考察的区间 $[t_0, t_a]$ 上, $A(t)$ 、 $B(t)$ 和 u 的元素是分段连续的,则状态方程存在唯一解

$$x(t) = \Phi(t, t_0)x_0 + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)B(\tau)u(\tau)d\tau$$

式中解的第一部分是初始状态 x_0 的转移。解的第二部分是输入的转移。 $\Phi(t, t_0)$ 和 $\Phi(t, \tau)$ 称为状态转移矩阵。

线性连续时变控制系统的状态空间表达式在一定条件下可以写成离散形式(离散化)

$$\left. \begin{aligned} x(kT + T) &= G(kT)x(kT) + H(kT)u(kT) \\ y(kT) &= C(kT)x(kT) + D(kT)u(kT) \end{aligned} \right\} (2)$$

如果在所考察的区间 $[hT, kT]$ 上, $G(kT)$ 为非奇异矩阵,且其对应的线性连续时变控制系统满足解的存在和唯一性条件,那么在所考察的区间上,式(2)的

$$\text{解为 } x(kT) = \Phi(kT, hT)x_0 + \sum_{i=h}^{k-1} \Phi[kT, (i+1)T]$$

$\times H(iT)u(iT)$, 式中 $\Phi(kT, hT)$ 和 $\Phi[kT, (i+1)T]$ 为状态转移矩阵, hT 为初始时刻。

参考书目

郑大钟, 石纯一. 自动控制原理与系统. 北京: 国防工业出版社, 1980

(顾锦汶)

时序逻辑 (sequential logic) 输出不但和当前输入的逻辑值有关, 而且和在此以前曾经输入过的逻辑值有关的逻辑系统。具有这种逻辑关系的电路, 称为时序逻辑电路, 简称时序电路。它至少包含一个存储元件。电子号码锁、计算机中的众多控制电路、接口电路等都是时序电路。

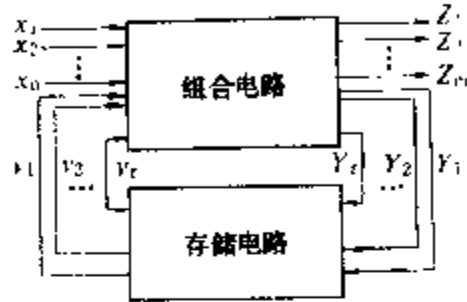


图1 时序电路框图

时序电路的框图见图1。有组合电路和存储电路两部分。存储电路是能存储信息的器件, 可以是触发器, 也可以是有时延的反馈, 其作用是保存与过去输入有关的信息。

图中, x_1, x_2, \dots, x_n 是时序电路的输入, Z_1, Z_2, \dots, Z_m 是它的输出; Y_1, Y_2, \dots, Y_r 是存储电路的输入, y_1, y_2, \dots, y_r 是存储电路的输出, 也反馈给组合电路的输入。有如下两个时序函数表达式:

$$Z_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_r) \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

$$Y_i = g(x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_r) \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

Z_i 称为输出函数, Y_i 称为控制函数或激励函数。

时序电路中有一个极为重要的概念是状态。并可分为内部状态和外部状态。内部状态由 $y_i (i=1, 2, \dots, m)$ 给出, 外部状态由 $Z_i (i=1, 2, \dots, m)$ 给出。若单指状态, 指的是内部状态。

分类 时序电路分为同步时序电路和异步时序电路两大类。异步时序电路又进一步分为脉冲异步时序电路和电平异步时序电路。

(1) 同步时序电路。在输入中有一个专门的定时信号(称为时钟), 对状态变量进行瞬时取样来控制电路的动作。它的存储电路用触发器。图2(a)是一个同步时序电路, 其中CP是定时信号。同步时序电路的输入可以是脉冲也可以是电平, 对研究电路的行为来说, 这二者没有差别。描述同步时序电路的逻辑工具是状态表和状态图, 见图2(b)和图2(c)。状态表把时序电路的输入、输出、现态(目前状态)、次态(下一状态)用表格形式反映出来, 说明输入和输出之间的逻辑关系, 并表明状态之间的转移规律。状态图通常由状态表推出, 更直观易读。

设计同步时序电路的一般步骤如下: 根据实际问题建立原始状态表; 对原始状态表进行简化, 根据简化后的状态表的状态数, 确定状态变量, 用状态变量的编码对每个状态进行赋值得出二进制状态表; 根据二进

制状态表, 把状态变量重新排列, 得到表征次态和输出的Y-Z矩阵; 选择触发器并根据触发器的激励表和Y-Z矩阵求得激励函数和输出函数, 并由此画出逻辑图。

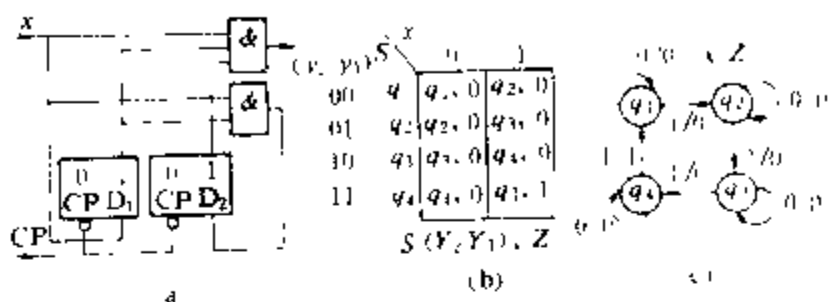


图2 同步时序电路

(a) 电路图; (b) 状态表; (c) 状态图

(2) 脉冲异步时序电路。存储电路用的是触发器, 和同步时序电路具有相同的基本特性。不同的是, 没有时钟输入, 在触发器的时钟端加的不是时序信号, 电路状态转换仅在输入脉冲作用下发生。当把输入脉冲作为研究电路变化的基本单位, 研究脉冲异步时序电路和研究同步时序电路的方法基本一样。

(3) 电平异步时序电路。没有时钟输入, 并且存储电路不用触发器, 而是用带时延的反馈。此电路的框图常画成如图3(a)所示形式。图3(b)是一个例子。分析时可以认为门电路本身不再有时延, 与反馈回路有关的时延都集中算在反馈回路的延迟线上, 记为 Δt 。

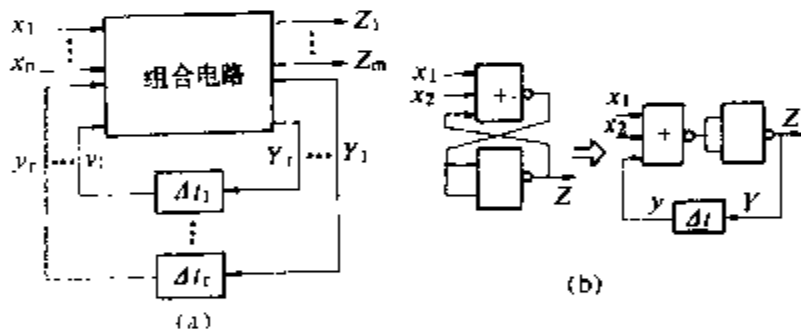


图3 异步时序电路

(a) 框图; (b) 电路图

当规定每次输入变化都使电路进入一个稳定状态后, 才允许新的输入变化, 这种电路工作方式称作基本工作方式。电平异步时序电路通常按基本工作方式工作。它的一个显著特点是状态有稳态和非稳态之分。当 $Y=y$ 时状态稳定, $Y \neq y$ 时状态不稳定。这样, 输入一次改变, 可能造成电路状态的多次转换, 从而造成电路动作失误。

设计电平异步时序电路一般步骤如下: 建立原始状态表, 此时, 不但要确定各种输入下的稳态, 还须确定各稳态之间转换所需要的过渡状态; 对原始状态表进行简化; 进行状态分配, 由于在最简状态表中存在不稳定状态, 分配时, 不仅力求电路最简, 还要避免造成误动作的临界竞争; 求出表征次态和输出的Y-Z矩阵; 用Y-Z矩阵画出逻辑图, 此时, 必须检查和消除

各种可能出现的险态。

对已有的电平异步时序电路分析是上述设计步骤的逆过程。

竞争和险态 时序电路中状态之间转换存在着过渡过程,也即存在着非稳态。①竞争。电路在过渡过程中存在着一个以上的非稳定状态变量,若电路所趋向的最终稳定状态与状态变量的变化次序有关,则称电路中的竞争是临界的,否则是非临界的。临界竞争会使电路的输出结果不确定。可以在组合电路部分中插入可控制的时延或者通过适当的状态赋值来消除临界竞争。②险态。在一对相邻的输入状态的转换过程中,可能导致电路的瞬间错误输出。险态在组合电路和时序电路中都可能发生,而对电平异步时序电路有严重影响。为了消除险态,可在状态变量的反馈回路中插入时延单元,使输入变量变化完成后,再使状态变量产生变化。

(李菊初)

shixu luoji dianlu

时序逻辑电路 (sequential logic circuit)

任何时刻的输出状态不仅与该时刻的输入有关,而且还与电路历史状态有关的一种数字逻辑电路。常用的有计数器、寄存器和脉冲顺序分配器等。见时序逻辑。

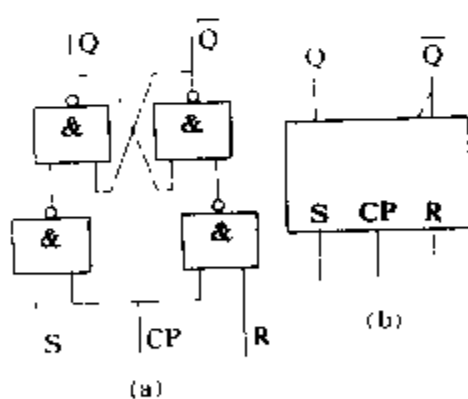
(唐泽荷)

shizhong RS chufaai

时钟 RS 触发器 (clocked RS flip-flop)

只有在时钟信号作用期间内输入信号才对它的输出状态发生控制作用的触发器。常用于逻辑电路中。

时钟 RS 触发器 的电路结构如图 (a) 所示,图 (b) 是它的逻辑符号。其中 S 为置 1 输入端, R 为置 0 输入端, Q 和 \bar{Q} 为两个互补输出端,稳态时 Q 和 \bar{Q} 的状态始终相反。CP 是时钟信号输入端, CP 系 clock pulse 的缩写。



时钟 RS 触发器的电路

结构和逻辑符号

(a) 电路结构; (b) 逻辑符号

电路的逻辑功能如表所示,其中 Q^n 表示触发器原来的状态 (亦称现态), Q^{n+1} 表示触发器的新状态 (亦称次态), \times 表示可以是 1 也可以是 0。从表中可看出,若 $CP=0$,无论 S、R 是 1 还是 0,触发器的状态始终保持不变。只有当 $CP=1$ 时,触发器的次态才受

输入信号控制,此时 $S=1$ 、 $R=0$,触发器被置 1; $S=0$ 、 $R=1$,触发器被置 0; $S=0$ 、 $R=0$,触发器状态不变。在 $CP=1$ 期间,如果 $S=1$ 、 $R=1$,当输入信号或时钟信号消失后触发器的次态就无法确定,因此应避免工作时出现 $S=1$ 、 $R=1$ 的输入情况。

时钟 RS 触发器的功能表

CP	S	R	Q^n	Q^{n+1}	CP	S	R	Q^n	Q^{n+1}
0	\times	\times	\times	Q^n	1	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	1	1	1	0	不定
1	1	0	0	1	1	1	1	1	不定
1	1	0	1	1					

(阎石)

shishi xitong

实时系统 (real-time system)

见操作系统。

统。

shiyong chengxu

实用程序 (utility program)

计算机系统

软件中为操作系统、软件环境、应用软件和用户提供有效的支持和服务的一组常用程序。如编辑程序、连接装配程序、环境维护程序、文卷操作程序和调试程序等。环境维护程序包括设置系统配置,修改环境变量和建立工作环境。文卷操作程序的主要功能有显示、转储、归并、分类、查找和修改等。显示是指输出文卷的目录、内容和属性;转储则是将信息从一种存储介质复制到相同或不同的另一种存储介质上;分类用于将文卷按指定顺序重新排列;查找是在文卷中检索指定信息;修改则用来改变文卷的内容和属性。

(王泽兵)

shizai gongli

视在功率 (apparent power)

电路元件端

电压的有效值和电流的有效值的乘积,又称表观功率。

令 U 和 I 分别为二端元件电压和电流的有效值, S 为视在功率,则有

$$S = UI$$

视在功率能表示在一定的有效值电压和电流下,电路元件可能获得的平均功率的最大值。工频交流发电机和变压器等电工设备的额定电压值与绕组绝缘、铁芯的截面积及铁损耗有关,而其额定电流值则与绕组导线截面积及铜损耗有关。额定视在功率可以看成该电工设备的最大利用容量和设计极限值。

(孙树勤)

适应控制系统 (adaptive control system)

应用适应控制律来修正可调系统的参数或者产生一个辅助的输入信号,使系统的性能指标接近于规定的指标的控制系统,又称自适应控制系统。

适应控制系统是从 20 世纪 50 年代开始研究的,随着控制理论和电子计算机技术的发展,70 年代以后,有了迅速的进展。

目前,适应控制系统已有多种形式,最常见的是模型参考适应控制系统和自校正适应控制系统两种。

模型参考适应控制系统 如图 1 所示。其中, $y(t)$ 和 $y_m(t)$ 分别是被控对象和参考模型的输出, $e(t)$ 是输出误差, $r(t)$ 是系统的输入信号。整个系统由两个控制回路组成:内回路是被控对象和前馈调节器、反馈调节器组成的可调系统;外回路由参考模型和适应控制律组成。当被控对象受干扰影响或模型参数发生变化,使被控对象的输出与优化的参考模型的输出产生偏差时,系统能通过一定的适应控制律,修改调节器的参数(例如图 1 中虚线所示的信号)或产生一个辅助控制信号(例如图 1 中实线所示的信号),促使被控对象与参考模型的输出相一致。见模型参考适应控制系统。

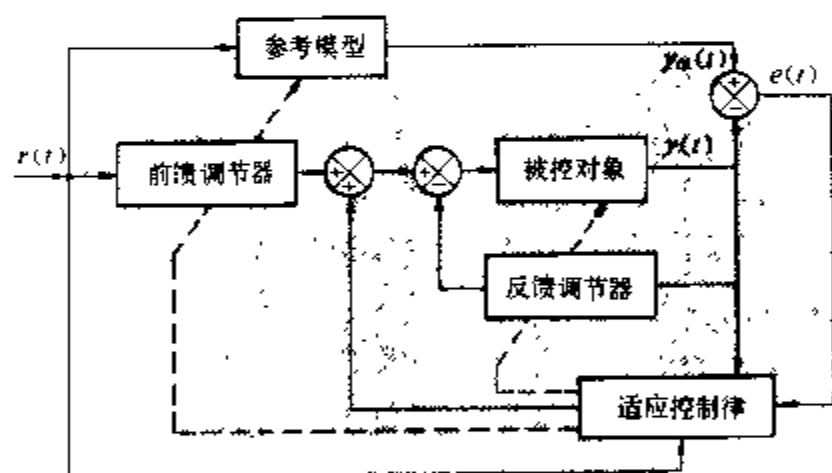


图 1 模型参考适应控制系统

自校正适应控制系统 如图 2 所示。其中, $y(t)$ 是被控对象的输出, $r(t)$ 是系统的输入信号。整个系统也由两个回路组成:内回路是反馈调节器、前馈调节器和被控对象,它类似通常的反馈控制系统;外回路是递推参数估计算法和调节器参数设计算法。系统运行时,首先进行被控对象参数的在线估计,然后根据估计的参

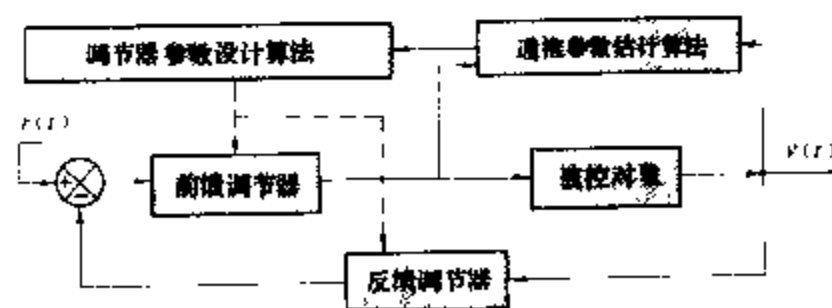


图 2 自校正适应控制系统

数值,进行调节器参数的选择设计,并根据参数的设计值,修改调节器的参数。

自校正适应控制系统,具有确定性等价性质,即当系统中所有未知参数用相应的估计值代替后,其控制规律与对应的参数已知随机最优控制规律相同。因此,在设计自校正控制规律时,可以根据确定性系统的设计办法:假定系统的所有参数是已知的,综合出系统的最优控制规律,然后用估计所得的参数来代替最优控制规律中的未知参数,就可得自校正适应控制律。见自校正适应控制系统。

参考书目

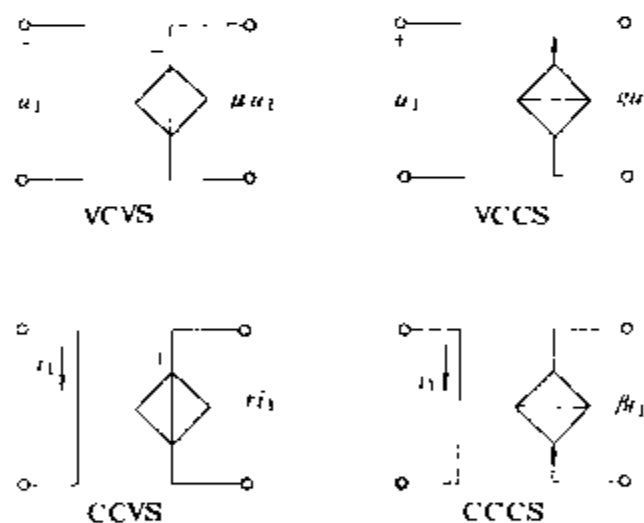
史维等, 自适应控制导论, 南京: 东南大学出版社, 1990

吴广玉等, 系统辨识与自适应控制, 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987

(蒋静坪)

受控源

(controlled sources) 受电路中另一部分的电流或电压控制的电压源或电流源。它是一种无内阻的电压源(或电流源), 它的电压(或电流)不是独立的, 而是某一控制量(另一支路的电压或电流)的函数。根据控制量是电压还是电流, 受控源是电压源还是电流源, 受控源分为四种: 电压控制电压源 (VCVS)、电压控制电流源 (VCCS)、电流控制电压源 (CCVS) 和电流控制电流源 (CCCS)。如图所示, 受



四种受控源的电路模型

控源用具有两对端子的电路模型表示, 其中受控源接于一对端子之间用菱形符号表示, 另一对端子之间的电压或电流表示控制量。图中 μ, g, r, β 分别为各受控源的控制系数, 当它们为常数时, 对应的受控源称为线性非时变受控源。

受控源是从电子器件中抽象出来的一种电路元件, 在分析电子电路时经常会遇到。

(龚绍文)

shuchu tankui

输出反馈 (output feedback) 见线性二次型次优控制。

shuchu shebei

输出设备 (output device) 将计算机输出的信息形式变换成人或外界过程所要求的信息形式的设备。输出设备把处理过程或结果显示、打印或记录在纸或磁性媒体上,也可用模拟量、语音图形等形式输出。

输出设备有印字机、数字绘图机、显示器等。

印字机 按印字方法分为击打式和非击打式印字机。

击打式印字机 用机械击打活动字符,使色带和纸相撞而印出字符,或用钢针撞击色带在纸上印出点阵字符图形的设备。其优点是印字清晰,可复印和长期保存。击打式印字机又分为行式和串式打印机。

(1) 行式打印机。逐行打印,一行字符数有 80、160 等几种,字符种类有 48、128 等。

(2) 串式打印机。逐字逐行打印,分点阵和菊花瓣二类。①点阵打印机:用 m 根针打印出 n (横) $\times m$ (纵) 点阵组成的字符图形,其格式有 5×7 、 7×9 、 9×9 。汉字点阵格式有 15×16 、 22×24 、 32×32 。②菊花瓣打印机:印字机机构里装有菊花瓣形字盘,作正向或反向转动,使要打印的字符转到打印位置,在控制线路的作用下,经色带将字符印到纸上。

非击打式印字机 用物理或化学方法印刷字符图形的设备,字符按点阵格式形成。有激光印字机、热敏印字机。

(1) 激光印字机。用激光束射向感光体表面产生电位变化,生成“潜象”。在静电作用下,使带有极性相反电荷的色粉微粒对“潜象”着色,然后再使色粉图象转印到普通纸上,并经热压处理,生成可永久保存的印刷件。它由机芯和控制器组成:①机芯。包括激光扫描系统、电子照相及控制部件、输纸机构。②控制器。主要用于控制激光束的高速扫描和感光体表面的低速移动。

(2) 热感应印字机。有热敏式和热转印式二种:①热敏式。将印字信息转化成热感应印字头的温度变化,在热敏记录纸上形成黑白图象。②热转印式。用热感应色带,由热感应印字头的温度变化,将色带上的油墨转印到纸上形成图象。这类印字机,具有丰富的色彩和层次,速度低于激光印字机。

数字绘图机 将计算机输出数据转换成图形的连续量输出的设备。如图 1 所示,计算机输出绘图数据,经插补器产生 X 和 Y 向的给进脉冲,送入驱动设备,驱动绘图笔在绘图台平面上运动,并控制绘图笔的起

落,在绘图纸上绘制图形。

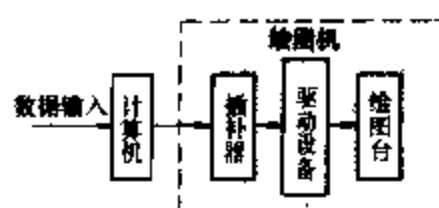


图 1 绘图机联机工作

还有一种以感光片代纸的特殊绘图机,称为光绘机。它在计算机控制下,直接在感光片上形成图形,用于制造印刷电路板。

显示器 将计算机输出信号变换成可视的光信号的设备。分字符显示器和图形显示器两种。

字符显示器 将计算机输出以字符图形点阵形式显示在阴极射线管 (CRT) 屏幕上的设备。点阵格式有 5×7 、 7×5 、 7×9 。其组成如图 2 所示。键盘为交互式显示器的输入部件;显示存储器存储要显示的 ASCII

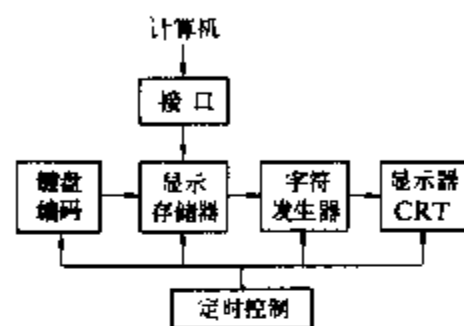


图 2 字符显示器组成图

码;字符发生器产生字符的辉光信号;定时控制线路维持显示器正常工作及 CRT 电子束扫描。

图形显示器 见图图形输入输出设备。彩色显示器常用的接口有彩色图形适配器 (CGA) 和增强型图形适配器 (EGA)。图形显示器用数字信号直接控制 CRT 的亮度及红、绿、蓝基色,形成彩色图形。还有多彩色图形门阵列适配器 (MCGA)、视频图形门阵列适配器 (VGA),是经数字/模拟转换器变为模拟量,控制红、绿、蓝形成彩色图形,比前二种显示器彩色和灰度更丰富、分辨率更高。

(王品常)

shuru shebei

输入设备 (input device) 把待输入计算机的信息转换成计算机能处理的数据形式的设备。待输入信息有模拟量、数字、文字、字符、语音、图象等,必须转换成相应的代码后才能由计算机处理。

输入设备主要有字符输入设备、图形输入设备及语音输入设备等。

数字和字符输入设备 把表示数字和字符的信息转换成编码的电信号输入计算机的设备。主要有:键盘输入设备,磁卡输入设备等。

键盘输入设备 把按键在键盘上的位置转变成对应编码信息输入计算机的设备。键盘由排列成阵列形式的按键组成,按键有接触式开关、抚模式的感应开关。

磁卡输入设备 把以条形码形式记录在磁卡上的数据输入计算机的设备。磁卡也可记录计算机的输

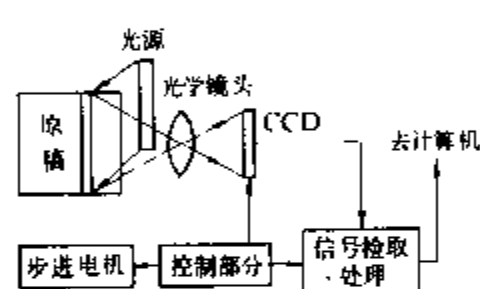
出数据。

图形输入设备 把图形信息转换成电信号输入计算机的设备。主要有鼠标器、扫描仪等。

鼠标器 在交互式图形系统中,提供位置信息的输入设备。它是一个手持小盒。按工作原理分机械式和光电式两种。①机械式鼠标器。在桌面上移动时,底部的轮子随之转动,由与轮子相连接的电位器检测出在两个相互垂直方向上的位移量,将其转换成数字量后输入计算机。②光电式鼠标器。当它驱动刻有两格线的铝板移动时,由装在底部的光电器件检测出在水平和垂直方向的相对位移量,输入计算机。

鼠标器有两种接口,一是总线式接口,需配总线接口板;二是通过RS-232C串行口接入,按字符方式送入计算机。后一种方式已被多数鼠标器所采用。

扫描仪 将原稿上的图形、文字信息输入计算机的设备,采用CCD(电容耦合器件)线阵的固态器件。CCD扫描仪如图所示,由几千个感光元件构成的CCD



CCD扫描仪示意图

器件制作在20~30mm长的衬底上。用长条状光源投射原稿,通过光学镜头在CCD感光区成象。由CCD器件串行输出一行模拟图象信号,经信号检取、处理单元,输出一行处理结果,送给计算机。扫描整幅图象的方法有光学成象系统面定面原稿移动的滚筒式;或光学成象系统移动面原稿固定的平面式。

CCD扫描仪由于融进了微机技术,不仅能捕捉二值化图形,在屏幕上显示黑白图形;还能捕捉灰度图象信号,也能捕捉彩色图象信号,即彩色扫描仪。

低速扫描仪采用IEEE-488或RS-232C标准接口;高速扫描仪采用DMA或中断请求方式传送的接口板。

语音输入设备 以语音方式输入计算机的设备,是人机接口的新形式,也称语音识别系统。通常分为孤立单词识别、连续语音识别与语音理解。它用于口呼数据采集系统、声控部件分拣系统和声音输入系统等。

(王品常)

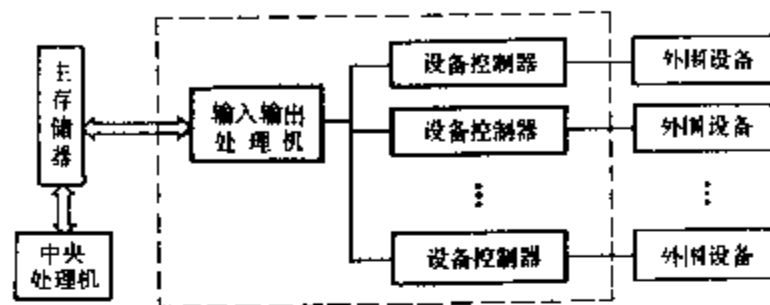
shuru shuchu chuliji

输入输出处理机 (input output processor)

控制外围设备和输入输出操作的专用处理机,也称外围处理机。在计算机输入输出控制系统中类似通道的作用。但由于输入输出处理机是一台完整的处理

机,有丰富的指令系统和很强的中断功能,有些输入输出处理机还带有一定容量的存储器,因此它的功能远比通道的功能强。

结构 输入输出处理机与主存储器及输入输出设备控制器的连接如图所示。图示虚线所包括的范围为输入输出控制系统。



输入输出处理机与设备控制器连接框图

特点 输入输出处理机比起一般的通道结构具有以下特点:

(1) 输入输出处理机有比通道更完善的指令系统,它不仅对数据进行装配、拆卸和对外围设备进行控制的指令,而且有一套访问中央处理机、外围设备、数据转移及对数据进行格式变换、码制变换和数据分类等加工处理的指令,为执行输入输出控制提供了较强的功能。

(2) 输入输出处理机具有一定容量的存储器及方便执行上述指令的硬设备,为输入输出处理机独立执行输入输出操作提供了硬件基础。

(3) 输入输出处理机本身就有较完整的输入输出设备控制部件、接口和线路,为连接输入输出设备提供了方便条件。

功能 由于输入输出处理机具有上述特点,所以具有以下几点功能:

(1) 能实现输入输出传送操作全过程的控制,包括传送前的处理及传送后的处理等。当中央处理机要使用外围设备时,只要向输入输出处理机发送命令及有关参数即可,其余工作全部由输入输出处理机独立完成,使中央处理机以更多的时间作高速数据处理。

(2) 输入输出处理机对输入输出传送操作的控制程序,一般是存放在自己的存储器中,不象通道那样存放在主机的主存储器中,所以输入输出处理机比起通道来说有更大的独立性,执行输入输出传输控制时既不依赖于中央处理机,也不依赖于主存储器。

(3) 简化了设备控制器的结构,有些设备控制器的职能可以由输入输出处理机实现,提高了输入输出操作控制的智能化和分布处理的程度,还可以用功能更简单一些的微处理器或单片机来作设备控制器用。这也是输入输出处理机的一种应用。

(汪日康)

shuru shuchu kongzhi xi'ong

输入输出控制系统 (input output control system)

对计算机输入输出操作实施控制的系统。它是输入输出系统主要组成部分,由与输入输出操作有关的硬件和软件组成。

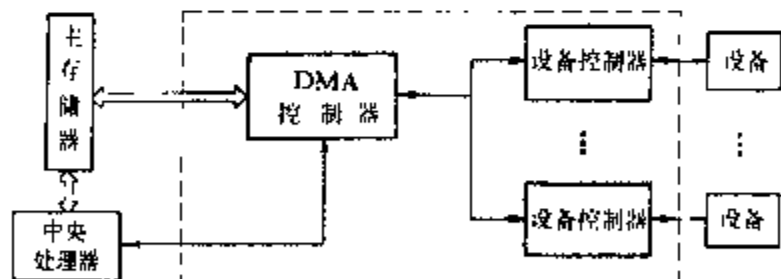
功能 输入输出控制系统的主要功能是:①组织和控制数据的输入输出传送;②管理与检测外围设备的操作和状态。

结构 取决于控制方式。随着计算机系统组织结构的发展,输入输出控制方式有程序控制输入输出方式、中断方式、直接存储器存取控制方式、通道控制方式和输入输出处理机控制方式。这些不同输入输出方式,都是本着追求输入输出操作和中央处理器操作的更大并行性、输入输出控制的更大独立性、外围设备连接的更大方便性为目标的。

(1) 程序控制输入输出方式。由中央处理器通过程序,直接控制外围设备及全部输入输出操作。按这种方式控制时,输入输出操作与中央处理器操作是完全串行的,很慢的输入输出操作要占用大量的中央处理器时间,使中央处理器的效率降低。

(2) 中断方式。外围设备发出中断请求,计算机执行完成现行指令后,响应中断,暂停主程序,转入中断服务程序,控制外围设备的输入输出操作。操作结束后,中断服务程序返回主程序,使主程序继续运行。

(3) 直接存储器存取控制方式,简称直接存取方式(DMA)。外围设备和主存储器直接相连,输入输出数据不经过中央处理器而直接进出主存储器,中央处理器只控制外围设备的起动和状态检测等操作,不控制数据的输入输出传送。DMA控制器挪用主存储器周期,控制数据输入输出。这种控制方式的关键部件是DMA控制器,其结构框图如图中虚线框所示。它包括



直接存取控制方式的输入输出控制系统

DMA控制器和设备控制器等,这种输入输出控制方式适用于设备速度较快,设备数量不多的情况,例如磁盘机、磁带机等。

(4) 通道控制方式。输入输出通道简称通道,是把外围设备和主存储器连接起来的数据通路,负责数据的输入输出传送控制。通道控制当然也是一种直接存

取控制方式,但其功能要比一般的DMA功能强。因为通道有自己的指令系统、状态字和程序。通道程序虽然存储在主存储器中,但是在通道中运行的,通道通过运行通道程序来实现对外围设备及输入输出的控制。通道控制方式的输入输出控制系统由通道和外围设备控制器组成。通道的结构及分类等见通道。

(5) 输入输出处理机控制方式。用一台专门的处理机来取代通道,实现对外围设备及输入输出的控制。输入输出处理机控制系统由外围设备处理机和设备控制器组成。由于处理机不仅有功能更丰富的指令系统,而且有一定的存储容量,所以它的功能比通道控制方式强。外围处理机控制方式的组成结构见输入输出处理机。

(汪日康)

shuru shuchu shebei kongzhiqu

输入输出设备控制器 (input output device control unit)

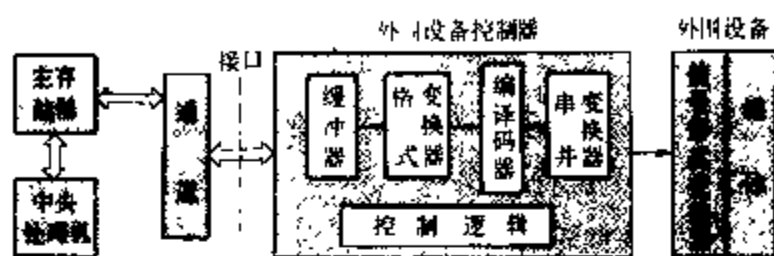
计算机输入输出控制系统中与外围设备直接连接的功能控制部件,也称外围设备控制器,简称设备控制器。它位于通道或处理机总线接口与外围设备之间,接受从通道或处理机送来的命令,控制外围设备完成所要求的操作,实现外围设备与通道或处理机之间的数据变换和传输,向通道或处理机反映设备或设备控制器本身运行的状态。

分类 根据输入输出设备控制器的工作方式和结构的不同,可以分为以下几种:①单通路输入输出设备控制器。每个控制器只连接和控制一台外围设备。②多路选择输入输出设备控制器。它能连接和控制多台外围设备,但只有一个数据传送通路,当某台设备进行数据传送时便独占控制器,但外围设备的某些辅助性控制操作也可在不占用控制器时完成。③多路交叉输入输出设备控制器。一台控制器能控制多台设备同时使用控制器传送数据,但每台外围设备是以一个字节或多个字节为单位,交替轮流使用控制器进行数据传送。④综合型输入输出设备控制器。该控制器具有各种不同外围设备之间传送数据的内部通路,能控制多台不同类型的外围设备,根据通道或处理机送来的命令,在不同类型设备之间相互进行数据传送。

功能 无论哪种输入输出设备控制器,均具有以下几点基本功能:①控制外围设备的各种具体操作,如起动、停止、输纸和走带等;②提供外围设备与通道或处理机之间的数据传送路径,并对数据传送提供定时控制;③提供必要的数据缓冲器,以平衡外围设备与处理机之间的数据流量,满足异步方式传送的需要;④实现数据在计算机内与在媒体中不同格式和不同编码之间的变换;⑤实现计算机与外围设备之间数据的串、并

行转移;⑧实现对外围设备的检查、诊断和维护,并向处理机报告外围设备的状态等。

结构 输入输出设备控制器的组成,及与通道和外围设备的连接示意图如图所示,这是属于单通路输入输出设备控制器。



外围设备控制器组成连接示意图

实现 输入输出设备控制器可用一个通用处理器或单片机来实现对外围设备的控制。也可以结合通道或处理机实现,还可以结合设备实现。因此,按设备控制器实现时与其它部件的结合程度,而划分为独立型、处理机结合型及外围设备结合型等类。

(汪日康)

shuru shuchu xitong

输入输出系统 (input output system) 计算机系统中的主机与外部进行通信的系统。它由外围设备和输入输出控制系统两部分组成,是计算机系统的重要组成部分。计算机的外围设备包括输入设备、输出设备和磁盘存储器、磁带存储器等。从某种意义上也可以把磁盘、磁带设备看成一种数据输入输出设备,所以输入输出设备与外围设备这两个名词经常是通用的。

在计算机系统的发展过程中,输入输出系统的结构变迁和发展占有极为重要的地位,研究新的外围设备、组织、控制和管理好日益增多的外围设备,是提高计算机系统性能的关键之一。

(汪日康)

shujiegou

树结构 (tree) 由 n ($n \geq 0$) 个结点的有限集合所构成的一种数据结构。当 $n=0$ 时称为空树,非空树递归定义如下:①有且仅有一个称为根的结点;②其余结点可分为 m ($m \geq 0$) 个互不相交的子集,其中每一个子集本身又是一棵树,称为根的子树。树结构在客观世界中广泛存在,也是程序设计中各种信息的重要组织形式之一。

树中的结点包含一个数据元素及若干指向其子树的分支。结点拥有的子树数(分支数)称为该结点的度。度为 0 的结点称为叶或终端结点;度不为 0 的结点称为分支结点或非终端结点。树中各结点的度的最大值

称为树的度。树是一种层次结构,结点的层次从根开始定义,根为第一层,若某结点在第 i 层,则其子树的根为第 $i+1$ 层。树中结点的最大层次称为树的深度或高度。若树中各结点的子树之间在逻辑上存在顺序关系的,则称该树为有序树;否则,称为无序树。

在计算机中,通常采用多链式存储结构来表示树结构。对树的操作有:①检索树中的结点;②遍历树中各结点,即按某种规则巡访树中每个结点,使得每个结点被访问一次且仅访问一次;③添加子树;④删除子树等。

在程序设计中较广泛使用的树结构有:

(1) 二叉树:度 $k \leq 2$ 的有序树。二叉树与一般树(度 $k > 2$ 的 k 叉树)之间存在一种一一对应的转换算法。在通常采用的用同构(等长)的多链式存储结构表示的树中,二叉树的密度最高。因此,二叉树除了本身有着广泛的用途(如二叉查找树, Huffman 树等)外,还可以用作一般树的存储结构。

(2) Huffman 树:带权路径长度最短的二叉树。所谓带权路径长度是从根到树中所有带权叶子之间的路径长度与权的乘积之和。根据给定的一组权值,构造一棵相应的 Huffman 树的算法,称为 Huffman 算法。Huffman 树有着广泛的应用,如在解决某些判定问题时,利用 Huffman 树可以得到最佳的判定算法;在快速远距离通信中,可以得到编码长度最短的编码。

(3) 查找树:将需频繁进行查找的数据集合组织成便于查找的树结构。它比通常的表或文卷结构的查找效率要高。最常用的查找树有:二叉排序树、平衡树、B-树和 B⁺-树等。

(吴美朝)

shuju

数据 (data) 能被计算机接受和处理的各种描述事物属性的表示。包括整数、实数、字符、文字、表格、图形图象和声音等。数据是程序设计的加工对象,能输入到计算机中,按人们的要求加以处理(如编辑、存贮、传送、分类、计算、转换、检索、制表和模拟等),以得到所需要的结果。数据经过解释并赋予一定的意义以后,便称为信息。

(吴美朝)

shuju baomi jishu

数据保密技术 (data security) 计算机和通信系统中保护数据的科学技术。计算机和通信系统中的数据面临着许多自然的或人为的、有意的或偶然的损害。例如:因电磁干扰、噪声和存储媒质的缺陷所

造成的误码误字；由于线路及设备的电磁辐射或有意的搭线所造成的信息泄露；编程或录入时的失误；使用者越权读、写成处理数据；工作人员渎职，违反授权规则处理数据；软件中潜藏对数据的破坏因素，如所谓“特洛伊木马”和“计算机病毒”等。

从宏观看这些损害对数据造成两种后果：①完整性受损，数据失去其应该具有的面目；②信息流向错误，数据或其有关信息落入了不应被拥有的主体，或称信息泄露。

冒充某个用户输入数据的行为虽不一定造成以上两种损害，然而它会使系统受骗，错误地认识数据的产生者和事务的责任者，导致系统错误地工作。

因此，数据保密技术的主要任务有三方面：①保护数据的完整性；②保护数据具有正确的信息流向；③确认数据的产生者和事务责任者。

保护数据的完整性 可以采取以下措施。①存取控制与正确的授权规则相结合：用以保护存储在计算机中的文件及数据的完整性。②完整性约束：用以限制和发现对数据完整性的损害。③并发控制：用来防止并发事件对数据完整性的损害。④误码的检测和纠正：用以保护因误码而对数据完整性的损害。⑤密码术手段的数据完整性检测：用以发现对数据完整性的有意损害，也可用于检测外来软件中潜藏的破坏因素。⑥适当地设置保留数据和备份副本：可使数据遭受损害后具有某种恢复能力。⑦完善管理措施。

保护信息的正确流向 可以有以下方法：采用密码术以保护传输数据和专用的存储数据不致泄露；采用存取控制与信息流向控制或密码术相结合以保护存储数据有正确流向；采用推断控制以防止统计数据库中的信息泄露；采取措施减小电磁辐射和串话；完善保密管理。

确认数据的产生者和事务责任者 为防止系统受骗，可以有以下一些方法：采用个人识别符（或口令）以识别用户，并与密码术相结合以防止在线路上或系统中泄露识别符；用户与系统之间重要的数据交换采用确认数据产生者的措施，将数据和个人识别符相联系并采用密码术；在密码术的新近发展中有一种称为数字签名的技术可用于确认数据产生者，不但可用于系统对用户的确认，也可用于用户相互间的确认。

密码术 研究密码体制的技术。它是密钥控制的数据到密文的可逆变换。数据变换成密文称为加密，其逆称为解密。目前常用的有序列密码和分组密码两种形式：①序列密码：对不定长的数据用相同长度的称为密钥流的随机字符串逐个字符地加密成相同长度的密文；②分组密码：将数据划分为规定长度的字符串，在

密钥控制下将字符串整体地变换成相同长度的密文字符串。密码术用在通信秘密的保护方面已有悠久的历史，是行之有效的。现在，在数据保密的几个主要问题上找到了它的用途，虽然它不能解决数据保密的所有问题。

（叶又新）

shuju biaoshi

数据表示 (data representation) 处理机

硬件能识别和处理的数据表示方法。处理机的数据表示方法是设计人员根据处理机系统结构要求而规定的。尽管计算机中原始数据有着各种不同的形式，但在进行处理之前，必须转换成处理机规定的格式。计算机中常用的各种数据结构（如串、队、阵列、矩阵、链表、记录和文卷等）也需由系统程序员利用各种算法经软件映象面转换成相应的格式。

记数制 计算机中采用的基本记数制式有二进位制和十进位制两种。①二进位制：用 0 和 1 两个符号，以 2 为基数的记数方法称二进位记数制，简称二进制。例如二进制数 1001.101，表示的十进制数为： $1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 9.652$ 。二进制运算规则简单，与二值逻辑运算规则一致，且具有两个稳定状态（可分别定义为 0 和 1）的物理器件容易获得，因此在计算机中普遍采用二进位记数制。在二进制的基础上又引出了以三个二进制位代表一个数位的八进制和以四个二进制位代表一个数位的十六进制记数法。②十进位制：用 0, 1, 2, ..., 9 十个符号，以 10 为基数的记数方法称十进位记数制，简称十进制。在计算机中一个十进制数位由四个二进制数位编码组成，称二—十进制数或 BCD 码。由于四位二进制位有十六种组合，取其中 10 个组合分别表示 0, 1, 2, ..., 9，舍去多余的 6 种组合。

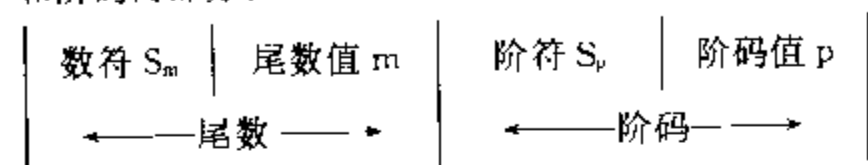
小数点的表示 计算机中小数点的表示方法有定点和浮点两种。

(1) 定点表示：小数点隐含的定在两个特定位置：小数点在有效数位的最右端称定点整数表示，如 10110.（表示十进制数 22）；小数点在有效数位的最左端称定点小数表示，如 .01011（表示十进制数为 0.34375）。定点表示法会给用户带来麻烦和限制：用户的初始数据、中间结果或最后结果可能在很大范围内变化，程序设计者必须在运算的各个阶段预先引入适当的比例因子，把数据统一放大或缩小，以满足定点表示的要求。

(2) 浮点表示：一个实际的数往往包含有整数和小数两部分。用通式表示为： $m \times r^p$ ，其中 m 称尾数，表示数的有效数位， p 称阶码（或指数）表示小数点位

置的参数, r 称基值, 表示 m 和 p 两个参数的记数制基值。例如十进制数 369.785。通式表示为, 369785×10^3 ; 二进制数 110.101 通式表示为, 110101×2^{011} 。

对一个特定的计算机, 基值 r 是约定的 (定为 2 或 4 或 8 或 10 等), 因此, 计算机中一个浮点数包括尾数和阶码两部分:



其中 S_m 为尾数符号, 亦即实际数的符号; m 为尾数值, 表示数的有效数位 (通常为定点小数); S_p 为阶码符号; p 为阶码值 (通常为定点整数), S_p 和 p 表示实际小数点的位置。例如, 若二进制浮点数为: $0(S_m)100110(m)0(S_p)011(p)$ 或 $0(S_m)100110(m)1(S_p)011(p)$, 则实际数分别为: $+100.110$ 或 $+0.000100110$ 。由于浮点表示中小数点位置可以浮动, 因此, 一个浮点数的表示形式不是唯一的。尾数值 m 最高位为 1 的浮点数称为规格化浮点数。在运算过程中若出现非规格化形式时, 则必须进行规格化处理。处理方法是: ①若尾数值最高位为 0, 则将尾数值左移一位, 且阶码值减 1, 直到尾数值最高位出现 1 为止; ②若尾数值大于 1, 则尾数值右移一位, 且阶码值加 1; ③若尾数值为 0, 则不需规格化。

在机器位数相同的情况下, 浮点比定点所能表示的数的范围大, 且精度高。

带符号数的表示 在计算机中数的符号分别用 0 表示正, 1 表示负。符号位在数的最左边。一个带符号的正数, 在处理机中只有唯一的表示法: 符号位之后跟以数的绝对值, 称原码表示法。例如数据 +1011, 表示为 $0(S_m)1011(m)$ 。但带符号的负数却有三种表示法: ①原码表示: 符号位之后跟以数的绝对值。例如数据 -1011, 原码表示为 $1(S_m)1011(m)$ 。②反码表示: 符号位之后跟以数的绝对值的反码, 即二进制绝对值代码中 1 的反为 0, 0 的反为 1, 例如上述数据 -1011 的反码表示为 10100。③补码表示: 符号位之后跟以数的补码即数的反码 + 1。例如数据 -1011, 补码表示为 10101。同一负数有原码、反码和补码三种不同表示方法, 对应有三种不同的运算规则。

字符数据的表示 用若干二进制位组合编码定义各种字母、数字、运算符、关系符、控制符以及其它特殊符号, 供计算机输入、输出及文字信息处理用。中国通用的是 1980 年颁布的国家标准 GB—1988—80《信息处理交换用的七位编码字符集》, 它以七个二进制位表示 128 个字符, 包括 32 个控制字符、94 个图形字符和一个间隔字符、一个抹掉字符。

(陶 欣)

shuju jiegou

数据结构 (data structure) 组成复合类型数据的各数据元素间的结构表示和构成方法。把简单类型的数据 (如整数、实数和字符) 按一定的方法加以组合, 可以构造复合类型的数据 (如数组、记录等)。又可把复合类型的数据再加以组合, 构造结构更加复杂的数据。若在数据结构的定义中出现本身的名, 则称为递归的结构。数据结构的概念是 N. 沃思 (N. Wirth) 和 C. A. R. 霍尔 (C. A. R. Hoare) 在 1966 年首先提出的。

根据不同的方法, 可构造不同的数据结构。在程序设计中常用的数据结构有: ①表结构: 包括线性表、栈、队列、字符串、数组等; ②树结构; ③图结构; ④文卷。

每一数据结构都有逻辑的和物理的两个侧面。数据结构的逻辑描述, 称为数据的逻辑结构; 数据在物理介质上的表示, 称为物理结构或存储结构。

数据结构按其状态特性可分为静态和动态两类。静态结构是在整个使用期间其大小保持不变的数据结构, 而动态结构是在程序执行过程中大小有变化的数据结构。

(吴美朝)

shujuku guanli xitong

数据库管理系统 (database management system, DBMS) 建立、使用和维护数据库系统的一组通用软件。它一般是由计算机厂商出售的商品软件。用于实现有组织地、动态地集中存储大量关联数据, 方便多用户的访问。

数据库管理系统的组成及其功能为: ①数据库描述语言: 用于定义和控制数据库; ②数据操作语言: 用于对数据库进行操作时编写应用程序; ③数据库控制程序: 执行对数据的安全、保密、完整性的描述与检验, 控制用户的并发性访问, 协调整个数据库系统的运行; ④数据库维护程序: 用于装入数据、监视、统计、记录数据库的运行, 应用户要求或系统设备变化时修改和更新数据库, 对数据库作备份及故障恢复等。

由于可以分别采用两状、层次和关系数据模型的原理和方法设计软件, 因此相应地构成网状、层次和关系的数据库管理系统。较早的 DBMS 都处理成网状或层次的格式化模型。1968 年 IBM 公司制成的 IMS 系统 (层次模型结构) 和 1969 年的数据系统语言协商会 (CODASYL) 数据库任务组 (DBTG) 提出的报告“网络模型结构”就是典型的代表。1970 年 IBM 公司的 E. F. 科德 (Edgar F. Codd) 提出了关系模型的概念, 从而出现关系数据库管理系统, 目前已有许多产品面世, 获得广泛的应用。

(毛根生)

shujuku xitong

数据库系统 (database system) 以计算机软、硬件为工具,把数据组织成数据库形式的数据存储管理系统。它以计算机和大容量外部存储设备(磁带、磁盘、光盘等)为依托,由以下三个方面有机结合而成:①数据库管理系统:建立和操纵数据库的软件;②数据库:存储和管理某系统或专题的大量关联数据;③应用程序:对数据进行查询、增加、修改、删除等操作的程序包。

通常数据库系统是针对专题的,故可称为某专题的数据库系统,如人事管理数据库系统等。从处理范畴来分,可区分为事务处理、图形处理和工程数据库系统等。狭义的数据库系统是指目前应用最广的事务处理系统。简化的数据库系统示意图如图1所示。

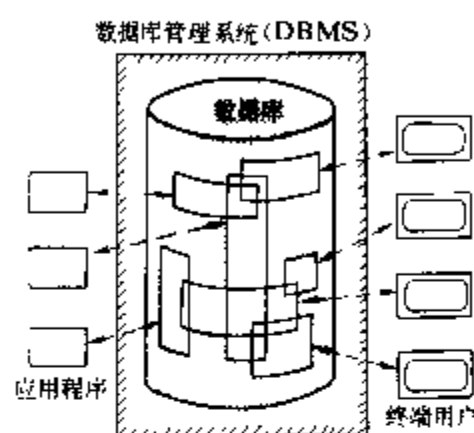


图1 数据库系统示意图

数据库系统设计过程 设计过程大致分四步:①根据专题要求,确定计算机的机型和存储容量,选取适当的数据库管理系统;②对专题数据和要求进行整理和分析归纳,按照数据库管理系统的要求建立数据模型,用模式描述语言对该模型进行描述使成为数据库模式;③以上述模式为框架,输入欲存储之数据,建立数据库;④编写用户所要求的对数据库提作的应用程序。图2示出设计过程的流程图。

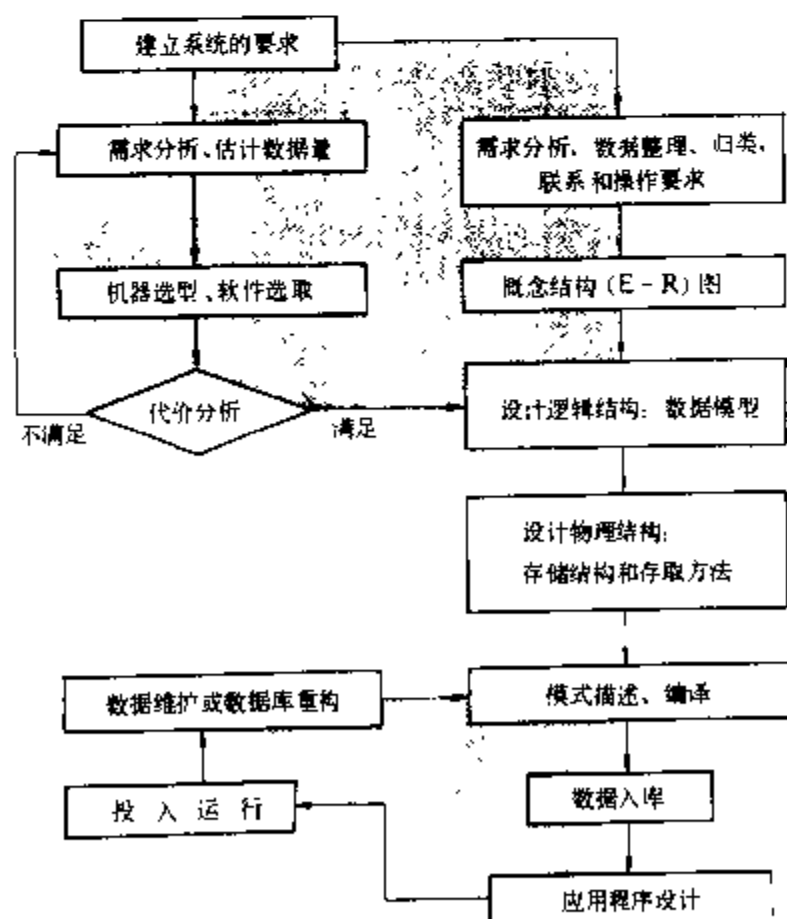


图2 数据库系统设计过程流程图

数据模型 把客观事物及其联系表示成可供某种数据库管理系统处理的数据结构形式。客观事物通过人们的感觉和思维形成信息,在信息世界中称之为实体。例如客观存在的“人”,在人们头脑中就反映为实体“人”,具体的某一个人作为实体中的个体或称为实体值。反映实体的各种特征,如人的姓名、性别、年龄等称为实体的属性,而某具体人的姓名、性别、年龄称为属性值,并以此组成一个个体。在机器世界中,属性的计算机数据形式表示称为数据项。数据项的联合说明了某个个体,在计算机中称为记录类型。记录类型内各个数据项的值的联合称为记录值,通常也简称为记录。它反映了实体中某个个体的情况。记录类型之间的联系反映了实体间的联系,记录类型之间和记录类型内的数据项之间的联系称为数据模型,它表达了数据的组织结构。由于联系的形式不同,可分为层次数据模型、网状数据模型和关系数据模型。

数据库逻辑设计 对专题的需求进行调查分析后,用准确简明的实体—联系表示(称为E-R图表示),构成概念数据模型。逻辑设计的任务是把概念数据模型转变成等价的适应于特定数据库管理系统的逻辑数据模型。从概念模型到逻辑模型,以及层次、网状、关系三种数据模型之间的相互转换均已有了规则和算法。对逻辑数据模型的性能评价和优化也有某些方法可选用,并有相应的软件工具。

数据库物理设计 根据特定的数据库管理系统提供的存储方法和存取策略,选取最适合应用要求的物理构造过程。主要功能有:①对数据库和库内各记录类型确定数据存储结构。例如是否应建立Hash结构,是否建立B树等。②建立数据库的多个人口点和各种存取路径。例如为某些数据项建立索引、次索引,对不同的数据文件增加指针联系等。③确定数据的存放位置。例如把数据库分成几个部分(域),哪些记录值在哪些域等。④确定外存的划分和存储参数。有些数据库管理系统提供了物理参数选择项,例如确定把外存划分为若干个命名的存储区域、溢出空间的大小、块的长度、缓冲区大小等。

应用程序设计 根据专题应用要求,采用数据操作语言等,编制对数据库进行各种操作程序的过程。在有模式概念的系统中,应用程序涉及的仅为数据库的局部,因此首先须对用户的局部数据结构建立于模式,然后针对于模式编制应用程序。

数据库 为满足某一专题各用户的多种应用要求,按照某种数据联系,由软件在计算机外存中组织、存储和管理的相关数据的集合。依照不同的数据联系,分别有网状数据库、层次数据库和关系数据库之分。数据库是数据库系统的重要组成部分,图3说明了数据

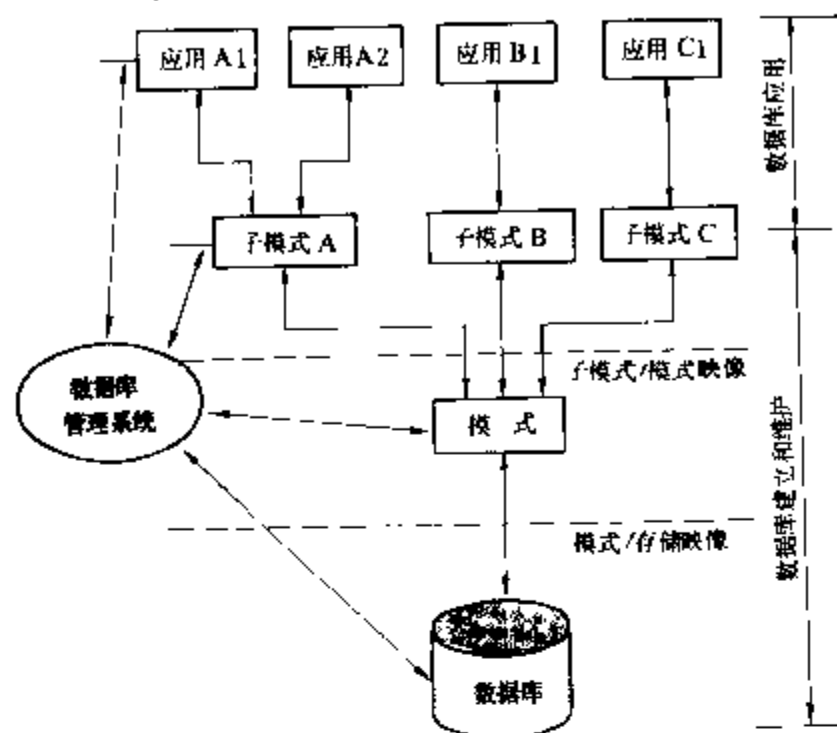


图 3 数据库系统的体系结构

研究课题与发展方向 数据库技术是计算机软硬件技术的一个重要分支,是近 20 几年来迅速发展起来的一门新兴学科,其研究课题与发展方向主要有以下几个方面:①数据库系统的设计。在现有数据库管理系统的基础上,针对专题要求设计一个结构合理、效率较高、操作方便的数据库系统。具体的课题有:数据库设计方法学和软件工具的设计;运用软件工程原理指导系统设计;关系数据库规范化理论的深入研究及用它指导逻辑设计等。②数据库管理软件的设计。指研究和设计新型的、具有更强功能和更高效率的、方便用户的系统软件。研制重点之一是关系型数据库管理系统,特别是查询的优化、并发控制和效率。另外还有对数据库系统标准化的探讨等。③在办公自动化方面数据库技术的应用,其中主要研究各种非规格化的数据(如文本、图形、符号、声音等)的存储和处理,以及方便办公人员的终端接口。④数据库系统技术应用于计算机辅助设计(CAD)系统、工程数据库、图形数据库的研究。⑤新型数据库系统的研究。主要有演绎数据库、面向对象数据库、智能数据库等。⑥分布式数据库的研究。随着分布式计算机系统和网络技术的发展,迫切需要进行分布式数据库系统的研究与开发。⑦研制数据库计算机,设计专门用于完成数据库管理系统中的部分或全部功能的新型计算机系统。采用联想处理机、联想存储器、多处理机等快速数据处理装置,以提高数据库系统的性能。

参考书目

郑若忠,王鸿武. 数据库原理与方法. 长沙:湖南科学技术出版社, 1983

Jeffrey D. Ullman. Principles of Database Systems, Third Edition. Maryland: Computer Science Press 11

shujuku xitong baohu

数据库系统保护 (database system protection)

保护数据库系统的安全和完整,使之具有随时可正常运转,并防止机密数据泄漏的系统自我保护功能。上述保护不涉及物理和法律方面因素,而主要指数据库系统的安全性和完整性问题。通常是由数据库管理系统提供工具,由数据库管理员和用户进行定义来实现的。

(1) 安全性:主要是对用户进行身份的标识和识别,例如预先定义用户和口令,操作时询问用户并进行核实,以及对用户存取权限的控制。权限控制又分按名控制和按内容控制两种:①按名控制。即授权哪些用户可以用什么样的方式(读取、插入、修改、删除等)对哪些数据(子模式、记录、数据项)有访问权。②按内容控制。即读取数据再比较用户名,由数据内容来决定该用户能否获取数据,例如任何教师只能查询修改他所授课程的学生成绩。对非常机密的数据可变换为密码存储,使得偷越标识鉴定和存取权限而不知密码的入侵者也无法破译所得数据。

(2) 完整性:主要归结为数据含义的完整性约束条件、并发控制和数据库恢复。其中:①约束条件指的是现实世界成系统设计者要求数据项值应满足的条件,在模式描述同时给以定义。②并发控制指的是当多个事务并发运行时,对防止数据不可重读、误读和丢失修改的不一致性的控制,由系统提供的并发控制程序完成。③数据库恢复指的是数据库遇到某种破坏后,还原到用户可接受的状态的功能,一般可用系统提供的依据运行日记进行恢复或定时作数据库备份然后恢复的支持功能来实现。

(毛根生)

shujuku yuyan

数据库语言 (database language)

用以建立、操作、控制和维护数据库的计算机语言。它是数据库管理系统的重要组成部分,也是系统与用户的直接界面。它包括数据描述语言(DDL)和数据操作语言(DML)两大部分,有的系统把两部分结合在一起,有的系统则从描述语言中独立出数据控制语言。

数据描述语言 用于定义和控制数据库的语言。描述数据库全局逻辑数据模型和约束条件的语言称为模式描述语言,描述的对象称之为模式。有的还增加控制用户的存取权和控制数据的完整性等描述。描述数

数据库物理特性和实际存储方式,即用作物理设计的语言称为存储描述语言。有的系统把二者统一在一起。描述数据库局部逻辑结构的语言称为子模式描述语言。模式描述语言有独立的文本、语法和编译系统。子模式描述语言则和相应的应用程序设计语言有相容的语法。

数据操作语言 用于对数据库进行操作时编写应用程序的语言。从语言的使用形式区分,它可分成自含型和宿主型两种。自含型的语言可以独立写应用程序,有其相应的编译或解释系统。宿主型语言以其他程序设计语言(如 COBOL, FORTRAN, C 等)为宿主,数据操作语句仅能嵌在其中而组成应用程序。

不同的数据库管理系统均提供相应的数据库语言。其中 SQL (Structured Query Language) 语言已作为国际化的数据库语言,它包括查询、操纵、定义和控制四种功能,许多商品化的数据库管理系统都采用 SQL 作为其数据库语言。

(毛根生)

shuju leixing

数据类型 (data type) 程序设计语言中所定义的具有相同数学特性和相同操作集的数据集合。变量被说明为某一数据类型时,对应的数据集合即为该变量的值集。

程序设计中常用的数据类型可分为两大类。①简单类型。其数据的结构非常简单,甚至是无结构的。包括整数型、实数型、字符型、逻辑型、枚举型、子界型和指针类型等;②复合类型。其数据由简单类型或复合类型的数据组合而成,包括数组、字符串、集合、记录、文卷等。

在各种高级程序设计语言中,常根据语言本身的特点,内部定义了若干简单类型和复合类型,用户可以直接使用。此外,某些高级语言还提供了用户自己定义数据类型的机制,以增强语言的功能。

使用数据类型概念的程序中,每一个变量、常量或表达式的值,都属于确定的数据类型。变量的值域以及所容许的操作,都由数据类型在程序中显式或隐式地规定。可利用类型概念提高数据的抽象表示能力,防止和发现程序中的某些错误,提高程序的可靠性、可读性和可维护性。

(吴美朝)

shumo zhuanhuanqi

数模转换器 (digital to analog converter)

能将数字量转换成模拟量的器件,简称 DAC 或 D/A。数模转换是模数转换的逆过程,即从数字式编码

信号变换为对应的模拟式信号,它在通信、计算机、运动技术及测量仪器等领域中得到广泛应用。

组成及工作原理 数模转换方式主要有并行和串行两种。图 1 为由 4 位 $R-2R$ 梯形电阻网络组成的并

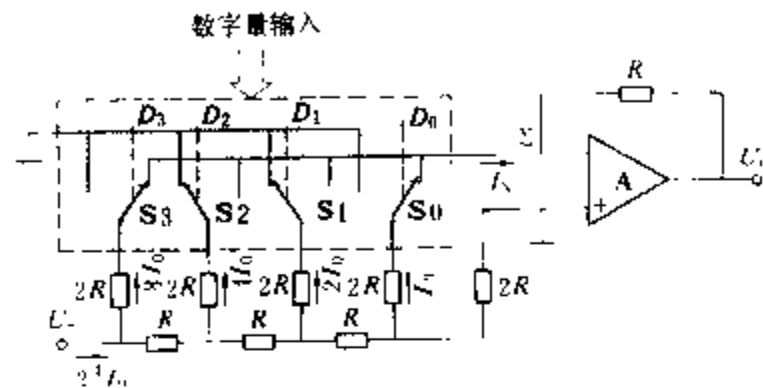


图 1 数模转换原理电路

行数模转换电路,它是按二进制数“权”位转换成相应的模拟量后相加而得。所谓“权”是指二进制数的每一位所代表的值。图 1 中,并行输入的 4 位二进制数码 $D_3 \sim D_0$ 分别驱动所对应的开关 $S_0 \sim S_3$,用来控制运放 A 输入端 Σ 点接通的 $2R$ 支路数,以产生相对于输入数字量的电流值,然后通过运放 A 输出相应的电压 U_o 。设输入数字量为 1001,其对应的开关 S_0, S_3 接到运放 A 的输入端, S_1, S_2 接地,若参考电压 U_R 提供的电流 $I = 2^4 I_0$, 则

$$I_x = 8I_0 + I_0 = 9I_0 \quad U_o = -9I_0 R$$

与输入数字量 $(1001)_2 = (9)_{10}$ 相对应, I_x 与数字量成正比关系。图 2 为四位二进制数模转换的传输特性。

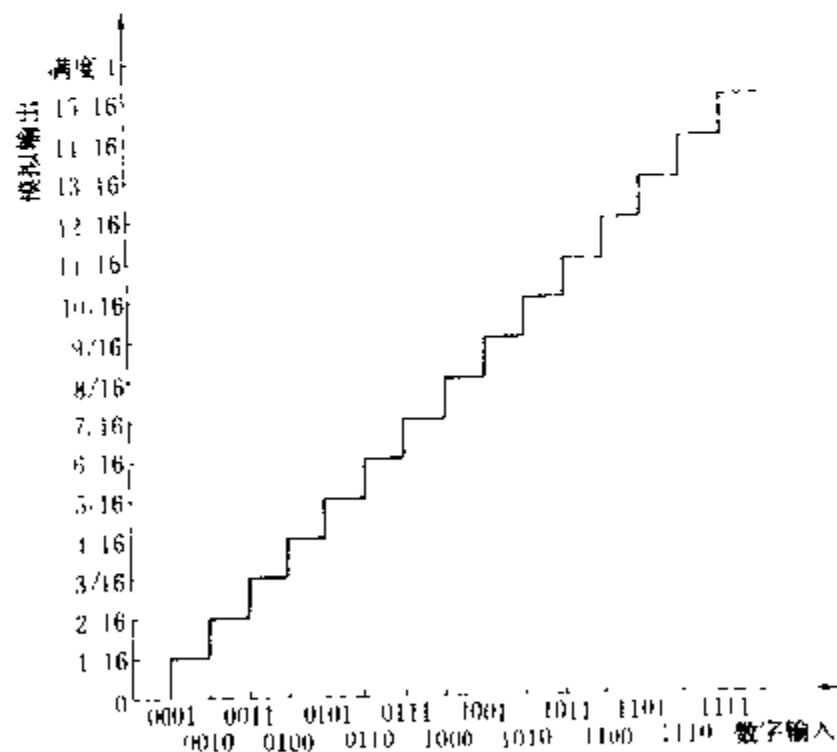


图 2 数模转换传输特性

电路特点 ①电路中电阻的品种少,差值小(为 R 和 $2R$),因而集成化容易实现,精度易保证。②开关切换时,通过开关的电流变化近似为零,提高了转换精度。③ $2R$ 支路中电流在开关切换前后可维持不变。

串行数模转换方式，不是将数字量的各位同时转换，而是先将数字量转换成脉冲序列数，一个脉冲代表一个单位的数字量，然后把每个脉冲变成单位模拟量再相加。这种转换方式，常采用步进电机来完成，步进电机的绕组由脉冲序列经脉冲分配器来控制，优点是转换精度高，但速度低。

(唐泽荷)

shuxue guihua

数学规划 (mathematical programming)

根据问题对变量的约束条件，寻求变量值使一个或多个给定函数取得极小或极大值的一个数学分支。如果满足约束条件的变量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的值集为 D ，给定的函数为 $f(x)$ ，则数学规划主要研究的是寻求 $x^* \in D$ ，使得 $f(x^*) \leq f(x)$ [或 $\geq f(x)$] 对一切 $x \in D$ 都成立。 D 称为约束集， $x \in D$ 称为问题的可行解， $f(x)$ 称为问题的目标函数， x^* 称为问题的最优解。若存在 $x^0 \in D$ 的一个邻域 $U(x^0)$ ，使得对于 $U(x^0) \cap D$ 中的 x ，都有 $f(x^0) \leq f(x)$ [或 $\geq f(x)$]，则称 x^0 为问题的局部最优解，而 x^* 也称为总体最优解。

将数学方法用于生产规划的思想，在 19 世纪或更早以前就已萌生。20 世纪 40 年代以后，由于现代大规模生产和管理的需要，电子计算机的高速运算功能，促进了数学规划的发展，并取得广泛的应用。根据问题的性质和处理方法的差异，数学规划形成许多不同的分支，如：线性规划、非线性规划、整数规划、组合规划、参数规划、随机规划、动态规划、多目标规划、几何规划、模糊规划等。

参考书目

Bachem A. ed., Mathematical Programming, The state of the Art. Berlin: Springer Verlag, 1983

(陈增武)

shuxue moxing

数学模型 (mathematical model)

控制系统的变量之间相互关系和变化规律的数学描述。它把系统中现象的分析归结为某种形式的数学问题。变量之间的关系可以用公式(例如代数方程、微分方程、差分方程、传递函数等)表示，也可以用表格或图形表示，它们都是数学模型的表现形式。数学模型分为静态模型和动态模型。静态模型表述各有关变量在静态情况下的关系，可以用代数式表示。动态模型表述各有关变量在动态过程中的关系，连续系统常用微分方程，离散系统常用差分方程以及其他适当的方式表示，代数方程不能作为动态模型。在建立数学模型时，要兼顾模型

的简化和结果的准确性。应该根据课题的要求来确定数学模型的简化程度，要力求简化，但必须满足课题的要求。

用微分方程和传递函数作环节和系统的数学模型例子见环节和传递函数。

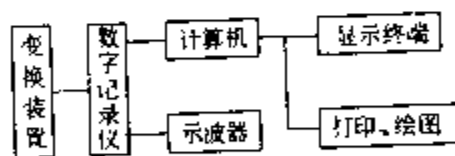
(徐瑞德)

shuzi caiji xitong

数字采集系统 (data acquisition system)

由计算机可编程序控制，对模拟信号波形进行定时采集，并将其量化为数字信号予以存储和处理的一种综合功能的测量系统。这种测量系统也可称作数字测量系统(digital measuring system)或信号处理系统(signal processing system)。可用它对稳态和暂态信号进行测量，对高速的一次过程信号的测量更具有优越性。数字采集系统采用计算机控制和数字技术具有下述优点：①具有存储和记忆功能。可保存多次测量的大批数据，并可任意调用。②具有处理和分析功能。利用数字信号处理方法可排除人为读数误差，可减小量化过程造成的各种误差及内部噪声和外部干扰的影响，以提高测量准确度，还可对测量结果进行各种数学运算和分析。③容易实现遥控遥测及测试自动化。利用数学信号和指令便于传送的性能，可由计算机通过工作程序进行各项控制和数据传送。④可记录触发前过程。给定数字记录仪的预触发量，便可取得预定的触发前信号变化的情况。⑤一次记录过程中可改变采样速度。某些数字记录仪具备这种功能，以便充分利用寄存器容量，有选择地在时间上放大或压缩被测信号波形变化的情况。以上优点对暂态信号波形的观测特别有利，因而数字采集系统已有取代传统的模拟示波器的趋势。

系统的组成 如图所示。变换装置在高电压或大



数字采集系统的组成 中最关键的部件，它利用

模数转换器将输入模拟信号波形按内部时钟控制的时间逐点量化为数码，存入寄存器，并可通过接口直接将数码输出到计算机，也可通过数模转换器将数码重新转换为模拟量输出到示波器。为便于显示输出波形，有些数字记录仪与示波器组合成一个仪器，通常称之为数字记忆示波器(digital storage oscilloscope)。计算机是系统的控制、存储和处理的部件。所得结果可在终端设备上显示，也可用打印机或绘图机输出。

主要技术性能 表征数字测量的基本特性有三

项: ①位数 N 或额定分辨率 $r=1/2^N$ 。常用的位数为 8~10 位, 相应的额定分辨率则为 0.4%~0.1%。②采样率 f_s 或采样周期 $T_s=1/f_s$ 。常用的采样率范围很广, 可从数赫一直到数百兆赫, 目前最高可达 100 GHz, 若用采样周期表示, 则为若干毫秒、微秒、纳秒、皮秒等。③记录长度或内存容量 W 。它是指数字记录仪每一通道一次记录的总字数, 常用的内存容量为 256 字到 4096 字。除此之外, 与通常的模拟测量仪器一样, 具有测量频带、量程、通道数等技术性能。

数字采集系统应用于高电压测试时, 为满足有关高电压试验技术标准规定的测量准确度要求, 对其数字测量基本特性应作如下的选择: ①位数。仅作冲击测量时推荐用 8 位或以上, 兼作对比试验时推荐用 9 位或以上。②采样率。其值应不低于 $30/T_s$, 其中 T_s 为被测时间量。此外, 由于数字记录仪、计算机等工作电平较低, 在高电压测试中必须采取全金属屏蔽室、电源滤波器、隔离变压器、双屏蔽同轴电缆及良好接地等妥善的抗干扰措施, 以防止电磁干扰影响正常工作。一般要求电磁干扰电平应限制在被测量最高峰值的 1% 以下。

应用 数字采集系统具有记忆、分析、处理、可控等多种灵活的功能, 它的高电压测试领域中已用于稳态的工频高电压测量和谐波分析, 暂态的冲击电压和冲击电流测量, 以及气体绝缘金属封闭电器 (GIS) 的快速暂态, 信号测量。除快速、短时间的暂态过程外, 也用于断流容量试验、污闪放电试验等较慢速、长时间的暂态过程测量。它不仅可测量高电压、大电流等强电信号, 而且还可在强噪声背景条件下检测局部放电等弱电信号等等。除此之外, 数字采集系统现已广泛应用于各种工程技术、生物医学、原子物理、军事科学等广阔领域, 并有十分良好的发展前景。

(戚庆成)

shuzi diannengbiao

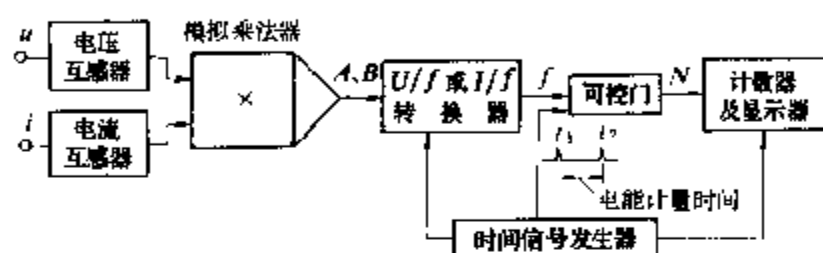
数字电能表 (digital kWhmeter; digital electricity meter)

应用模数转换技术, 计量电能并以数字显示的电表。其一般工作原理为先进行交流电压与交流电流的相乘, 以获得表征信号周期 T 内平均功率的信号, 再对后者实施积分 (累计) 运算, 得到表征积分时间 (t_2-t_1) 内电能的信号, 亦即实现 $P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$ 及 $W = \int_{t_1}^{t_2} P dt$ 的运算, 其中 t_1 、 t_2 为计量电能的起始与终止时刻。

具体实现上述原理的方法可归纳为模拟相乘法与采样算法两大类。

模拟相乘法 其原理框图如图所示, 输入量 u 与

i 经互感器后进入由模拟器件构成的瞬时值乘法器实现相乘, 其输出信号中包含了表征周期 T 内代表平均功率 $UI \cos \varphi$ 的直流成分 A (可以是直流电压或直流电流), 及一个交变的脉动成分 B 。 U/f 或 I/f 转换器将两者同时转换成频率信号 f 。若在较长的时段内累计频率信号的脉冲数 N , 则由于成分 B 的交变性质, 其对时间的积分值甚小或等于零; 因而 N 的数字只表征了 A 的积分值, 即此时段内所计量的电能值。在工频电能计量中, 时分割式模拟乘法器的应用最广泛, 因为它的转换误差极小, 价相低廉, 而且可靠性高。



模拟相乘法数字式电能表框图

采样算法 应用快速 A/D 转换技术, 在周期 T 内对电压及电流进行 n 次采样, 然后将相应瞬时值由微机进行相乘, 获得 n 个乘积 p_1, p_2, \dots, p_n , 再进行

$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$ 运算获得各周期的平均功率 P , 最后按

要求计量能量的时段将其间各周期的 P 加以累积即得到电能值。

数字式电能表的优点是准确度、线性度、频率特性、温度特性等远优于感应式电能表; 此外, 还适用于测量谐波成分较大的信号。缺点是可靠性及长期稳定性尚不够理想。

模拟相乘法的数字式电能表被广泛制成计量用的标准表, 也有工业现场用的产品。

采样算法的数字式电能表一般制成可同时测量电压、电流、功率因数、无功功率、电能需量等参量的多功能电表, 用于对工矿企业电能使用状况的记录与分析。

(尤德斐)

shuzi dianlu

数字电路 (digital circuits)

处理数字信号 (digital signals) 的电子电路。所谓数字信号, 是指时间上及数值上都是离散的 (不连续的) 信号。一方面, 它们的变化在时间上是不连续的, 总是发生在一系列的瞬时; 另一方面, 它们的数值大小和增减变化, 都是不连续的数值。

在数字电路中, 电压或电流通常只有两个状态: 高电平或者低电平, 有电流或者无电流。这样的两个状态可用逻辑 1 及逻辑 0 来表示。数字信号通常是以时间上或空间上这样的 0、1 符号序列来表示的。数字电路

输入与输出的 0、1 符号序列间的逻辑关系便是数字电路的逻辑功能，因而数字电路亦可认为是实现各种逻辑关系的电路。

数字电路通常由逻辑门、触发器、计数器及寄存器等逻辑单元和部件构成。数字电路分析的重点是输入、输出序列间的逻辑关系。

数字电路有如下的优点：

(1) 电路结构简单，容易制造，便于集成和系列化生产，成本低，使用方便。

(2) 由数字电路组成的数字系统，工作准确可靠，精度高。

(3) 数字电路不仅能完成数值运算，还可以进行逻辑运算与判断，在控制系统中这是不可少的，因此又把它称作数字逻辑电路。

(4) 数字电路便于采用数字计算机进行运算及处理，进行实时控制。

随着大规模及超大规模数字集成电路（见集成电路）的飞跃发展及近代微型计算机的开发，数字电路愈益显出其重要性。目前，数字式测量仪表，如数字电压表、数字频率表，已广泛使用；智能数字式仪器已进入实用阶段；语音及图象处理已实现数字化；各种生产过程的自动化也与数字电路及微型计算机的使用有着密切的联系。可以预见，数字电路将会得到更广泛的应用。

（汤之璋）

shuzi cianyabiao

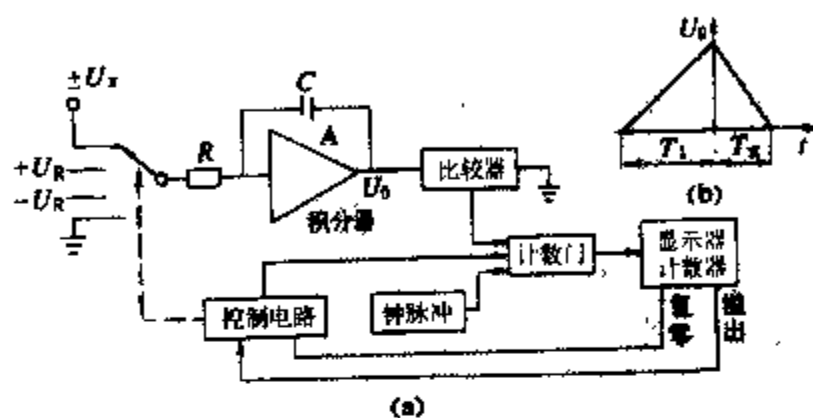
数字电压表 (digital voltmeter) 应用模数转换技术测量直流电压并以数字显示的电表。

数字电压表包含两个基本的功能部件，即模数转换器（A/D 转换器）和数字显示器。被测直流电压通过模数转换器转换成等值的数码值，再通过数字显示器进行显示。模数转换器是数字电压表的核心，利用大规模集成 A/D 转换器芯片构成的数字电压表已得到广泛的应用。

数字电压表按其转换原理的不同可分为积分型和逐位逼近型两大类。积分型是最常用的，其基本特点是对被测电压 U_x 进行积分。它又分为 U-T 型和 U-F 型。U-T 型双斜积分数字电压表的原理框图如图 (a) 所示。

在这种类型仪表中转换过程分为两个阶段：第一阶段对被测电压 U_x 进行定时积分，积分时间为 T_1 ，称定时积分期，积分输出电压沿斜线变化如图 (b) 所示。经 T_1 时间后，切换积分器输入电压，使对基准电压 U_R 进行积分，开始定值积分期，积分输出按给定斜率做反向斜线变化，直到积分器输出为零。按一次转换过程中

积分电容上电荷平衡原理，可以得到 $T_x = \frac{T_1}{U_R} U_x$ ，其中 T_1 、 U_R 均为常数， T_x 为定值积分时间。因此， T_x 与被测电压 U_x 成正比。对 T_1 和 T_x 进行计数编码，就可得到等效的数字值 $N_x = \frac{N_1}{U_R} \cdot U_x$ 。式中 N_1 、 N_x 为对应于 T_1 和 T_x 的脉冲数。



双斜积分型数字电压表

(a) 框图；(b) U_o 随时间变化图

由于定时积分期 T_1 选定为工频周期的整倍数，对叠加在被测信号上的工频干扰有很强的抑制能力，因此，这类电压表适用于工频干扰较严重的生产现场。转换速度约每秒钟几次或十几次。

数字电压表应用广泛，许多非电参数通过传感器转换成电压信号后，借助于数字电压表便能测得相应的结果。

目前，数字电压表的种类很多，其共同的优点是：测量准确度高，分辨力强，输入阻抗高，测量速度快，功能强（自动极性选择、超量程指示、过载保护等），便于提供数码形式输出；因此，有取代模拟式电压表的趋势。

（涂君载）

shuzi gongluliao

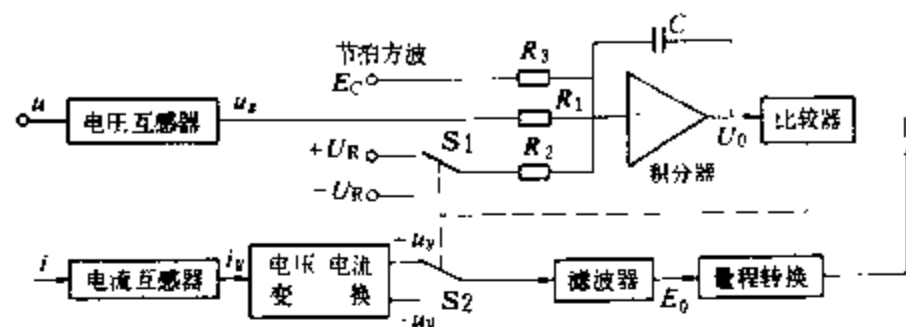
数字功率表 (digital wattmeter) 通过变换器将所测功率转换成电压，再经模数转换，并以数字显示功率值的电表。

根据功率表达式 $p(t) = u(t)i(t)$ ，将 $u(t)$ 和 $i(t)$ 输入到时分乘法器中相乘，得到与功率 p 成正比的模拟电压 E_0 ；再将此电压经 U-f 转换器变为频率，由频率计在一段时间 Δt 内计数 N ，便可得到这段时间内的平均功率。若 Δt 时间足够短，则可获得瞬时功率（见图）。时分乘法器是将节拍方波 E_c 提供的周期 T 分割为 T_1 和 T_2 ，其时间差值 $T_2 - T_1$ 正比于 U_x ，即

$$T_2 - T_1 = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{T}{U_R} u_x, U_R \text{ 为基准电压。}$$

比较器输出同时控制开关 S1 和 S2，开关 S1 切换

基准电压 $\pm U_R$ ，开关S2换接与被测电流成正比的方向相反、大小相等的电压 $\pm u_y$ ，当积分器输出 $U_0 > 0$ 时，即 T_1 期间，S1接通 $+U_R$ ，S2接通 $+u_y$ ；反之 $U_0 < 0$ ，即 T_2 期间，S1接通 $-U_R$ ，S2接通 $-u_y$ ，即 $\pm u_y$ 。



数字功率表框图

被开关S2所调制。于是在节拍方波一个周期 T 内，被调制输出的 $\pm u_y$ 经滤波后得到的平均值 $E_0 = \frac{u_y T_1}{T_1 + T_2} + \frac{-u_y T_2}{T_1 + T_2} = -\frac{T_2 - T_1}{T} u_y$ ，或 $E_0 = -\frac{R_2 T u_x u_y}{R_1 U_R T} = K' u_x u_y$ 。

由于 u_y 比例于电流 i_y ，即 $u_y = R_y i_y$ ，则 $E_0 = K' u_x i_y R_y = K_p u_x i_y$ 。由此可见，时分割乘法器是在一个节拍周期内作瞬间相乘。若节拍方波的周期很短，则 E_0 反映瞬时功率。设 $u_x = K_x u_m \sin(\omega t + \varphi)$ ， $i_y = K_y I_m \sin \omega t$ ，其中 K_x 为电压互感器成分压器的变换系数， K_y 为电流互感器或分流器的变换系数，则

$$E_0 = K_p K_x K_y U_m \sin(\omega t + \varphi) I_m \sin \omega t \\ = K U I \cos \varphi - K U I \cos(2\omega t + \varphi)$$

式中后一项可通过滤波器滤掉，使 E_0 在数值上仅与节拍周期 T 内的有功功率 $UI \cos \varphi$ 成正比。

(冯国华)

shuzi pinlubiiao

数字频率表 (digital frequency meter)

应用模数转换技术测量频率(或周期、任意时间间隔)，并以数字显示的电表。频率、周期、时间间隔的数字化测量通常采用在被测时间(或单位时间)内对电脉冲进行计数的方法。其共同部分是电子计数器。只要通过适当的组合，同一电路环节就可用来测量频率、周期、时间间隔和频率比等参数。

频率是指单位时间内振荡(交流电信号或电脉冲信号)的次数，其数学表达式为 $f = N/t$ 。式中 f 为频率， t 为产生 N 次电振荡或电脉冲所需的时间。

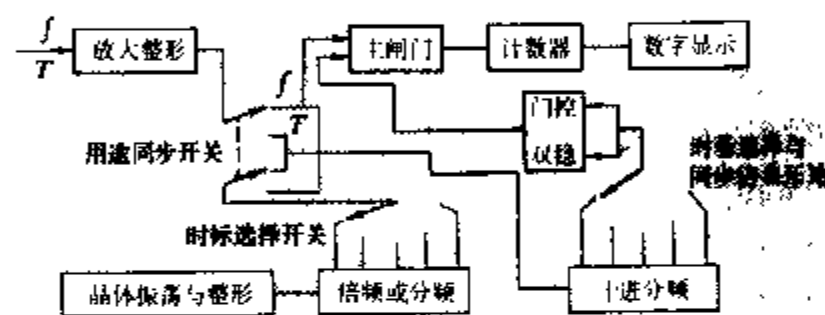
数字频率计的原理框图由三大部分组成：①输入通道和计数器。输入通道用来将各种被测电振荡波形(如正弦波、三角波、锯齿波等)放大整形后转换成矩形脉冲信号，在主闸门的控制下进入十进制计数器进行计数。计数值由数字显示器显示。②时间基准电路。时间基准通常采用石英晶体振荡器，其输出经整形后

形成矩形时钟脉冲，再经过一系列分频电路进行分频，得到不同时间基准，由时基选择开关进行选择。③控制电路。控制电路用来将主闸门在所选择的基准时间内打开，允许整形后的被测脉冲通过并送往计数器计数。

周期 T 与频率 f 互为倒数： $T = \frac{1}{f}$ 。被测周期信号被放大整形

后形成矩形脉冲送给十进制分频器，经过周期倍乘开关送到主闸门，使主闸门仅在被测周期 T (或 n 倍周期 nT)时间内开启。石英晶体振荡器的输出信号，经整形

后形成的矩形脉冲经过分频或倍频可得一系列的标准脉冲，即时标信号。该时标信号在主闸门开启时间 T 内进入计数器计数。设时标信号的周期为 τ_0 ，计数器读数为 N ，则被测周期为 $T = N\tau_0$ 。



数字频率表框图

(冯国华)

shuzi tuxiang chuli

数字图像处理 (digital image processing)

利用计算机对数字化的图象进行加工的技术。借助于它可得到符合人们某些要求的新图象或非图象信息，更便于人或机器作进一步的使用。这些要求有：①改善图象质量，例如去掉图中噪声和干扰，增强图象反差，突出图中感兴趣的部分，恢复由于运动、存放年代久远或成象条件不佳等因素而降质了的图象的质量；②压缩图象中的冗余信息，使于有效存贮和传输；③提取图片中的特征信息并给予适当描述和表示；④识别静止或运动目标，检测变化，理解图片内容，使机器实现有视觉功能的智能控制或自主行动。

数字图象处理的最早应用是在20世纪20年代，当时利用海底电缆成功地实现了纽约和伦敦之间的世界新闻图片的首次数字化传送；但直到60年代中期第三代计算机问世，并提供了足够大的容量和速度给图象处理算法使用时，数字图象处理的技术和应用才真正得到广泛开展。目前从太空探测到气象云图和核气泡室的图片分析，从地球资源卫星、航测到城市交通管理，从指纹分析、计算机层析学到细胞分裂研究，从文

字识别、景物理解到机器人自主行动等无不用到数字图象处理技术,而且随着时间的推移、技术的发展,它的应用范围与前景也将迅猛地扩大。

数字图象处理的基本技术包括:图象的获取,图象的数字化,图象的增强和恢复,图象的压缩与编码,图象的分割与描述,图象的匹配与识别,三维物体的重建,图象的显示与硬拷贝,图象的实时处理与理解等。解决这些理论与技术问题时需要有广泛的学科知识,如物理学、数学、电学、计算机科学和生理学等。最常用的工具有线性系统理论、矢量代数、微分几何学和泛函、概率论和随机过程。处理的图象有黑白图象、彩色图象、红外线图象、多波段遥感图象、静止图象、时间序列图象等。获取图象的方法可借助可见光、红外线、超声波、激光、雷达、声纳等种种成象原理。

图象的数字化 把原始的模拟图象在水平和垂直两方向上取样,并在灰度上量化,使成为适宜于计算机处理的数字化形式。数字图象是一个二维矩阵,每个阵元称为象元或像素,典型的像素阵列的大小为 256×256 , 512×512 或更大。每个像素的灰度级一般为 6~8 位 (bit)。也有用 1 位表示图象的,这叫二值化图。取样密度越大,灰度级越多,则包含的图象细节也越多,但占有的信息量也越大。实用中必须恰当选取这些数字化参数。

图象的增强 用以改善图象的供人们观看的主观质量,而不一定追究引起图象降质的原因。直方图修正、强化图象轮廓、去除随机噪声和干扰等都是常用手段。由于接受者是人,所谓图象质量的好坏就受观看者的心理、爱好、文化或专业素养的影响,评判只能是平均的,相对的。

图象的恢复 要找出图象降质的起因,并尽可能消除这些起因,使图象复原或接近恢复到本来面目。常见的方法有纠正几何失真,去除运动模糊、条带干扰,降低图象噪声,如从图象的信号与噪声的统计值入手用维纳滤波来改善信噪比等。

图象的压缩 用各种方法在空间域或空间频域上缩减图象中所固有的大量冗余信息。压缩方法可分成两大类,即无失真编码和有失真编码,以有失真编码用得较多。根据香农的信息论,允许图象在一定失真度下采用各种编码技术使压缩比(图象压缩前后的平均码率之比)达到最大。如果人作为通信系统中的接受者(观看者),还可利用人的视觉特性如掩盖效应和人对灰度、色彩和空间分辨率的有限性等特点取得更大压缩比,而感觉不出图象质量的下降。对于时间序列图象如电视图象,由于可利用帧间的相关性,采用帧间编码技术会进一步增大压缩比。近年来利用对图象中感兴趣目标建立模型的方法,提取目标的参数进行编码,可

得到更大的压缩比和较好的图象质量。

图象的分割 从一幅图象中找出感兴趣的物体或区域。对人来说能方便地做到这一点,但要计算机做到这一点却很难,常要给它以某些测度和知识,如使它按图象的特征,如灰度、颜色、纹理、连通性等,或按某些规则,如人的鼻子只有一个,长在眼睛下方和嘴的上方等等,从而把一些感兴趣的物体或区域从图象中划分出来,但一般说效果并不理想。常用的方法有阈值分割、边沿跟踪、区域生长、分裂和合并、知识基分割等。

图象的描述 以适当的语言和数据结构来表示已分割物体或区域的结构特性、统计性质或诸物体之间的关系,得出一种简洁的表达方式,为计算机匹配识别做准备。常用的符号描述方法有特征参数描述、句法描述、语义网络描述等。

景物匹配和识别 利用分割出的图象或物体的形状、特征信息成分层表达的结构关系作基准,通过搜索、比较、匹配和推理,从景物中找出要识别的目标。这是十分困难的问题,它涉及到模式识别、人工智能、生理心理学等学科的交叉研究领域。视觉识别是人和动物的眼-脑系统的固有功能,是在长期进化中形成的。人的知识、经验能在其头脑中建立起庞大的知识库和推理能力,但指望用计算机来做到这点却十分困难,原因是直到今天对人的识别事物的机制还了解太少。目前人们只是给计算机程序使它能“看”,而不是教给它最必需的知识使它学会“自己会看”,因此只能识别相对较简单的景物。常用的识别方法有相关法、结构匹配法、知识基的专家系统等。人们正通过进一步研究象计算视觉、人工智能、神经网络等理论来改进和完善对图象的识别方法。

为了开展数字图象处理的研究,单有计算机系统是完不成的,还需有进图装置、出图装置和图象处理软件包。常用的进图装置可以是 TV 摄像机、电荷耦合器件 (CCD) 摄像机及高分辨率的扫描鼓或扫描平台;出图装置可以是图象显示终端、图象硬拷贝机或扫描鼓等。

(荆仁杰)

shuzi wanyongbiao

数字万用表 (digital multimeter) 应用模数转换技术,并以数字显示测量结果的多功能、多量限电表,简称 DMM。可分为简易型(便携式)和精密型(台式)两大类。

简易型数字万用表 可用于测量直流和交流的电压、电流,测量电路的电阻、电容、电感和电源频率,测量晶体管的电流放大系数和检查二极管及线路的

通、断状态等。通用的 $3\frac{1}{2}$ 位或 $4\frac{1}{2}$ 位的数字万用表是在数字电压表表头的基础上扩充功能和量程实现的。其主要部件是一片大规模集成 A/D 转换芯片。转换原理为双斜积分型或 U—F 转换型。这些芯片具有自动调零、自动极性转换、过量程指示和过载保护等功能。

简易型通用数字万用表以干电池供电，采用高反差液晶显示器和旋转式或按键式多档开关。一个常用的 $3\frac{1}{2}$ 位的数字万用表的特性为：①最大显示值：1999（即 3 位半数字）及自动极性指示。②显示方式：液晶显示。③测量方法：双斜积分 A/D 转换。④过量程指示：只在高位显示“1”。⑤最大共模电压：500 V 直流或交流有效值。⑥读数显示率：每秒 2~3 次读数。其主要技术指标为：①直流电压、电流的测量误差为 $\pm 0.5\%$ 读数 ± 1 字；分辨率为 $100\text{ }\mu\text{V}$ 或 $0.1\text{ }\mu\text{A}$ 。②交流电压的测量误差为 $\pm 0.8\%$ 读数 ± 3 字；分辨率为 $100\text{ }\mu\text{V}$ ；频率范围为 $40\sim 400\text{ Hz}$ ；平均值转换。③电阻测量的误差为 $\pm 0.5\%$ 读数 ± 1 字；分辨率为 $0.1\text{ }\Omega$ 。④电容测量的误差为 $\pm 2.5\%$ 读数 ± 3 字；分辨率为 1 pF 。

目前，简易型数字万用表有取代模拟式万用表的趋势。

精密型数字万用表 内附有微处理器的多功能、多量程、自动化程度很高的智能化测量仪器。它不仅能精确地测量电压、电流、电阻、电容、电感等参量和参数，而且能对测量结果进行数据处理。它将复合型的 A/D 转换技术与微型计算机技术紧密结合，有自诊、自校、自检功能，能实现高准确度的测量，且便于与其他仪器组合成自动测试系统。 $8\frac{1}{2}$ 位数字万用表的直流电压测量误差在 24 h 内为 $\pm 0.5\text{ ppm}$ 读数 $\pm 0.1\text{ ppm}$ 满度；分辨率为 10 nV 。交流电压测量误差在 24 h 内为 $\pm 30\text{ ppm}$ 读数 $\pm 10\text{ ppm}$ 满度；频率范围为 $1\sim 10^6\text{ Hz}$ ；具有有效值转换；波形因数为 5。具有如此高性能的技术指标，使其可以取代传统的精密电位差计等计量仪器，在计量部门得到广泛使用。

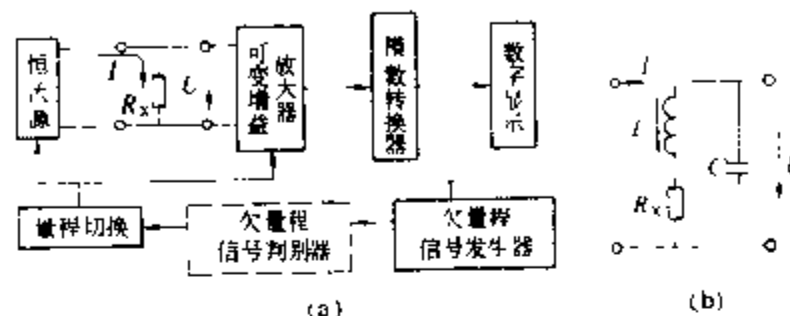
（涂君载）

shuzi weibiao

数字微欧表 (digital microohm meter)

应用模数转换技术，测量微小直流电阻，并以数字显示的电表。令恒定电流 I 通过待测的小电阻 R_x ，其两端电压 U ，即反映待测的电阻值。为了提高准确度与缩短测量时间，设有量程自动切换环节。图 (a) 是该

仪器的电路框图。图中 U 经放大转换为以数字量显示电阻值。如量程不合适，欠量程信号发生器发出信号直接给量程切换环节，改变恒流源电流的大小和可变增益放大器的增益倍数，使量程与待测电阻 R_x 的数值相适应。



数字微欧表

(a) 电路框图；(b) 带大电感、电阻的等值电路

如所测为带有很大电感的小电阻，例如大电机、大容量变压器绕组的直流电阻，其电感 L 值可达百亨以上，而且不可避免地伴随有匝间电容 C ，其值常为 μF 数量级。这类绕组的等值电路如图 (b) 所示。这样，测量过程中，在切换量程时， U 值呈衰减振荡形式，可使量程切换环节工作不稳定，拖延测量时间，甚至不能正常工作。为此增设欠量程信号判别环节 [见图 (a) 中虚线方框]，使本仪器能快速准确地判断所应选用的量程，以缩短测量全过程的时间。

（徐跃祖）

shuzi xiangweibiao

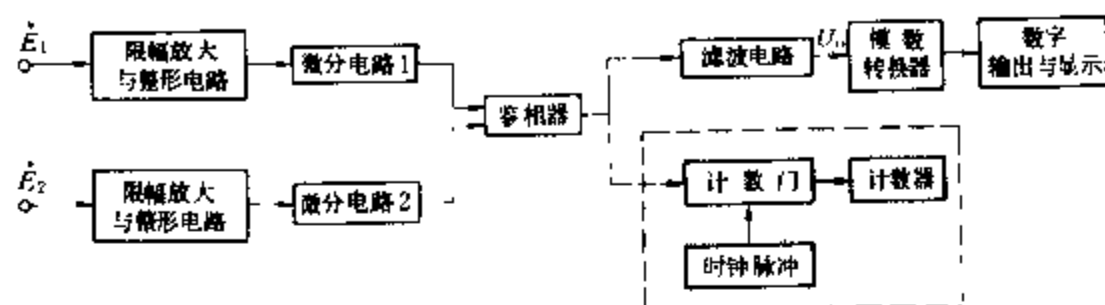
数字相位表 (digital phase meter) 应用模数转换技术，测量相位，并以数字显示测量结果的电表。数字相位表中被测相位差需先经转换。常用的转换方式有：相位—时间转换方式与相位—频率转换方式。

相位—时间转换方式 如图所示，具有相位差为 φ_x 的两个信号 \dot{E}_1 和 \dot{E}_2 分别通过限幅放大与整形电路后形成方波，再经过微分电路，得到对应被测信号过零瞬间的尖脉冲。这两组尖脉冲去触发鉴相器，鉴相器产生对应这两个过零瞬间相位差的方脉冲，即将 φ_x 转换成脉冲宽度（时间间隔） T_x ，再利用滤波网络将宽度为 T_x 、幅度为 U_x 的方脉冲转换成直流电压 U_0 。该直流电压 U_0 通过模数转换器得到数字输出和显示。

周期为 T 的两个同频率信号的相位差为 φ_x ，过零点的时间差为 T_x ，则有 $\varphi_x = (T_x/T) \times 360^\circ$ 。若滤波网络的时间常数足够大，在电路稳定后 $U_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T_x} U_x dt = U_x \frac{T_x}{T}$ ，于是有 $\varphi_x = (U_0/U_x) \times 360^\circ$ 。

由此可见，适当选择模数转换系数，使相位差为

360°时对应输出的直流电压为 3.60V, 便可直接读出角度。



数字相位表框图

相位—频率转换方式 用计数法测量相位—时间转换中鉴相器输出的时间间隔 T_s , 其原理与数字频率表测量时间间隔基本相同, 只是标准频率经分频后的输出为 $360 \times 10^\circ$. 设标准频率周期为 τ_s , 对被测周期为 T 的两个同频率信号的相位差 $\varphi_s = (N_s/N_T) \times 360^\circ$. 可见, φ_s 不仅与计数 N_s 有关, 而且与被测信号的周期 T (对应于 N_T) 有关. 为使其与被测量的周期 T 无关, 在计数门的输入条件中增加时基信号 T_s (采样时间) 且 $T_s > T$, 其倍数 $n = T_s/T$, 则在每次采样时间 T_s 内的读数为 $N = nN_s = \frac{T_s}{\tau_s} \times \frac{\varphi_s}{360^\circ}$, 即计数器读数 N 正比于 φ_s , 与周期 T 无关。

(冯国华)

shuangjixing bandaoqi qijian

双极型半导体器件 (bipolar semiconductor device) 半导体内的多数载流子和少数载流子两种极性的载流子(空穴和电子)都参加导电的半导体器件。并以此得名双极型半导体器件。例如通常的 NPN 或 PNP 双极型晶体管(见半导体三极管)。

(叶德敏)

shunxing

顺磁性 (paramagnetism) 物质受外磁场作用时呈现微弱的磁性, 且其磁化强度 m 方向与磁场强度 H 方向相同的性质, 也称常磁性。通常把具有顺磁性的物质称为顺磁质。由磁化率的定义 $M = \chi_m H$ 知, 顺磁质的磁化率为正的, 数量级在室温时一般为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 。

顺磁质分子的磁矩不为零, 无外加磁场时, 由于分子热运动, 各分子磁矩取向无规则, 因此宏观上对外不呈现磁性。在外磁场作用下, 顺磁质中的每个分子都受到一个使分子磁矩沿外磁场方向排列起来的力矩的作用, 使得分子磁矩有沿外磁场方向排列的趋势, 因此在外磁场中顺磁质的磁化强度方向与磁场强度方向相同。对顺磁质来说, 抗磁性效应也是存在的, 只是它们

的顺磁性效应比抗磁性效应强, 以致抗磁性效应被掩盖。

顺磁质的磁化率是与温度有关的: 对分子间相互作用可忽略的气体常磁质, 在温度不很低、磁场不很强的情况下, 磁化率 χ_m 与温度 T 成反比, 即

$$\chi_m = C/T$$

这称为居里定律, 式中 C 称为居里常数。

对分子间相互作用不可忽略的液体、固体顺磁质, 遵从居里—外斯定律, 即

$$\chi_m = C/(T - \theta)$$

式中 C 为居里常数; θ 为具有温度量纲的常数, 称为外斯常数。不同顺磁质, 分子间相互作用不同, 一般说外斯常数也不相同, 它可正可负。外斯定律适用范围为 $T > |\theta|$ 。

从原子结构看, 顺磁性是与原子、离子或分子具有未被电子填满的内壳层有关。常见的顺磁性气体有 O_2 和 NO 等, 固态顺磁质有过渡族金属的盐类、稀土金属的盐类及氧化物等。温度高于转变温度时, 铁磁质可转变为顺磁质。

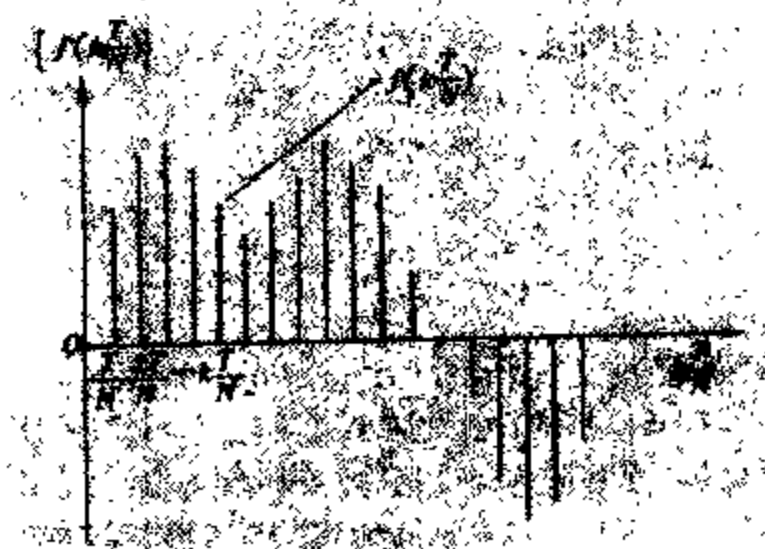
(吴百诗)

shunshizhi

瞬时值 (instantaneous value) 物理量在任何瞬时的值。在许多简单的情况下, 物理量随时间变化的瞬时值, 常用某一函数来描述。例如正弦电压的瞬时值 $u(t)$ 用正弦函数表示, 即

$$u(t) = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi)$$

式中 U 、 ω 和 φ 分别为电压的有效值、角频率和初相角, t 是时间变量。对每个瞬时 t , 可以从该式计算出对应的电压瞬时值 $u(t)$ 。非正弦周期电压和电流等时间函数, 通常用傅里叶级数的形式表示。有时也用波形图来描述物理量随时间的变化。常将物理量(例如电



离散时间信号

流)转换成电压信号,用示波器显示它的波形或用磁带机记录它的波形。

数字录波只记录若干离散时间点的瞬时值。常用的方法是将连续时间信号 $f(t)$ 的一个周期 T 分成 N 个等分点,每隔 T/N 秒进行一次采样得到离散时间信号 $f(k \frac{T}{N})$, $k=1, 2, \dots, N$ 。图示用数字录波测得的离散时间信号,只在整数 k 下才可能有记录到的数据。

(孙树勤)

sixiangxian mofa chengtaqi

四象限模拟乘法器 (four-quadrant analog multiplier)

两个输入信号均为双极性的模拟乘法器。它是目前在信号检测和控制电路中应用较多的一个单元。电路图如图 1(a) 所示。忽略基极电流后,其对应的压控分流图(见模拟乘法器)如图 1(b) 所示。由图 1(b) 可得

$$\begin{aligned} i_1 - i_2 &= yxI_0 + (1-y)(1-x)I_0 \\ &\quad - (1-y)xI_0 - y(1-x)I_0 \\ &= (2x-1)(2y-1)I_0 \end{aligned}$$

代入下式

$$\begin{aligned} u_o &= -R_c(i_1 - i_2) \\ &= -R_c I_0 \tanh \frac{u_x}{2U_T} \\ &\quad \times \tanh \frac{u_y}{2U_T} \quad (1) \end{aligned}$$

当 $u_x \ll 2U_T$, $u_y \ll 2U_T$ 时, 式 (1) 近似得

$$\begin{aligned} u_o &\approx -R_c I_0 \frac{u_x u_y}{4U_T^2} \\ &= -K u_x u_y \quad (2) \end{aligned}$$

式 (2) 中, 增益系数 $K = \frac{R_c I_0}{4U_T^2}$ 。从而

可得结论: ① u_x 、 u_y 均为双极性, 故图 1(a) 为四象限乘法器; ② $K = \frac{R_c I_0}{4U_T^2}$ 含

U_T^2 , 将产生较大的温漂; ③ 两输入电压 u_x 、 u_y 的线性动态范围太小。

图 1 四象限模拟乘法器
(a) 电路图; (b) 压控分流图

态范围太小。

流控分流器 为了消除式 (2) 中 K 包含 U_T^2 而引

起较大的温漂, 故采用流控分流器, 如图 2 所示。由图 2 可得

$$i_{c1} - i_{c3} = \frac{I'_0}{I_B} (i_{Y2} - i_{Y1})$$

上式中, I'_0 、 I_B 均为恒流源, i_{Y1} 、 i_{Y2} 虽然都是正向电流, 但是, 它们的差值 $i_{Y1} - i_{Y2}$ 可正可负; 这个差值可通过压控分流器(见模拟乘法器)来控制, 从而把流控分流

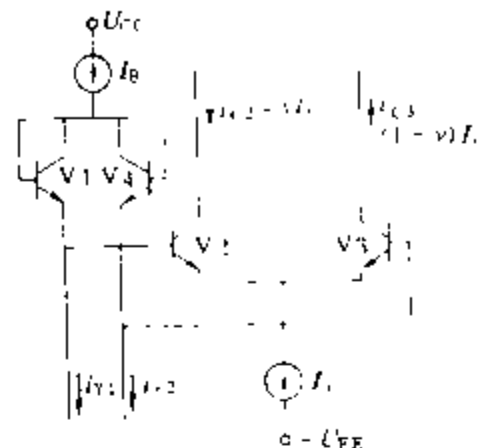


图 2 流控分流器电路图

器又转化为电压控制。把图 1(a) 和图 2 组合在一起, 即得图 3 所示电路。其输出电压为

$$\begin{aligned} u_o &= -R_c (i_1 - i_2) \\ &= -K u_x u_y \end{aligned}$$

式中增益系数 $K = \frac{R_c}{I_B R_X R_Y}$; K 不含 U_T , 而且 u_x 和 u_y 大大拓宽了线性动态范围。图 3 所示的四象限模拟乘法器广泛用于模拟电压的调制、解调、平方、开方、鉴相等电路中。

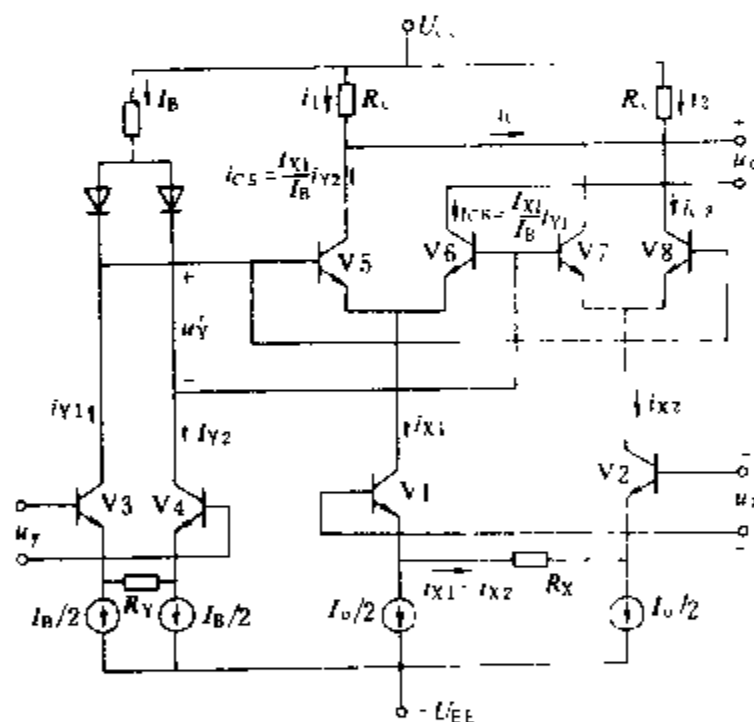


图 3 改进的四象限模拟乘法器

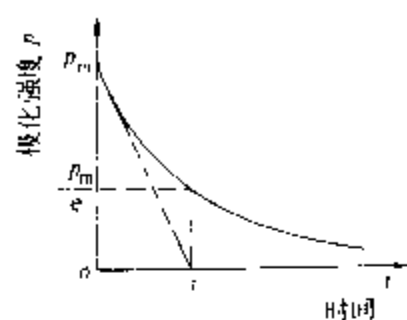
(何金茂)

songchi xianxiang

松弛现象 (relaxation phenomenon)

电介质极化过程中表现出的极化强度与时间有关的现象, 亦称弛豫现象。电介质中电子与离子位移极化仅需时间约 $10^{-15} \sim 10^{-12}$ s, 故可忽略不计, 而偶极子转向极化等则需要较长时间才能完成, 这类缓慢极化过程中极化强度与时间有关。当施加直流电场到电介质上时, 极化进行过程中, 极化强度 p 上升到其最大值

p_m 的 $(1 - \frac{1}{e})$ 倍所需的时间定义为松弛时间, 亦称弛豫时间, 它亦等于直流电场移去以后极化强度 p 降



松弛时间示意图

落到 $\frac{p_m}{e}$ 的时间, 如图所示。已知各类极化的松弛时间及出现该种极化的相应频段如表所示。

由介质极化松弛过程而表现出的宏观松弛现象有如下两种: ①介质电容充电或放电随时间衰减的吸收电流现象。②介电色散与吸收现象。

各类极化的松弛时间及响应频段

离子极化	$< 10^{-14}$	偶极子极化	$10^{-14} \sim 10^{-12}$	原子极化	$10^{-12} \sim 10^{-10}$
电子极化	$< 10^{-14}$	空间电荷极化	$> 10^{-10}$		

(刘辅宜)

suanfa

算法 (algorithm) 解一确定问题类的、精确描述的方法。它由有穷个动作步组成, 可以机械地执行。任一算法均具有以下五个特征: ①输入。一个算法有零个或多个输入量, 这些输入量是算法所要求的初始信息, 它们由有限字母表的字符串构成; ②确定性。算法的每一步都必须有确切的意义, 动作不能有二义性; ③有穷性。一个算法对任一合法输入必须在执行有穷步后终止; ④输出。一个算法有一个或多个输出信息, 它们常是与输入信息有特定联系的数量; ⑤能行性。所有的动作必须是能行的。由于能行性要求, 算法必须有离散性(有限字母表)和机械性(有限能行的动作)。对于一确定类问题, 给出了输入量后, 得到该问题类的一个实例, 机械地执行(由人、计算机或其他运算工具)相应的算法, 就可以获得实例的解答。能够用算法来解的问题或函数称为可计算问题或可计算函数。

发展简史 在古代, 计算通常是指数值计算。算法也仅限于在算术运算的范围内。中国古代的筹算和珠算口诀及其执行规则已有了算法的雏形, 它们所解决的问题类是加、减、乘、除等四则运算。古希腊数学家欧几里得(Euclid)在其《几何原本》中, 提出了著名的欧几里得算法, 即求两个正整数的最大公约数的辗转相除法, 它已具有算法的基本特征。在 20 世纪以前, 人们直观地认为, 所有的问题类都是算法可解的。直到 20

世纪 30 年代, 英国数学家 A. M. 图灵(A. M. Turing)提出了图灵机数学模型, 论证了图灵机与其他计算模型(如递归函数、马尔可夫正规算法等)的等价性, 才使能行性计算(动作)的概念建立在形式化的基础上。通常称图灵机确定的函数类为图灵可计算函数类。进而, A. 丘吉(A. Church)提出了一个论题: 直观地非形式定义的能行可计算函数类与图灵可计算函数类同一。在此基础上, 人们证明了算法不可解问题类的存在, 例如: ①停机问题: 给定任一算法和任一输入, 它能在有穷步内停机吗? ②希尔伯特(Hilbert)第十问题: 给定一个 k 个变量的整系数多项式方程, 它有整数解吗? 它们就是算法不可判定的两个著名例子。

NP 完全问题是算法领域中尚未解决的一个难题。

分类 现代算法的概念与计算机科学紧密地联系在一起, 计算也远远地突破了数值计算的范围, 扩展到大量的非数值计算、判定和枚举问题。根据不同的处理方法和计算机模型, 算法可分为串行算法, 并行算法, 概率算法, 近似算法等。也可根据讨论的对象来分, 如分类算法, 图算法, 串匹配算法, 表处理算法等。

不能对一切输入量都在有穷步内终止的运算称为计算过程, 也称部分算法, 相应地本条所指的算法也称为完全算法。具有确定性的算法称为一意算法, 如果在各步中, 可以执行若干条(有限条)动作之一, 从而输出不唯一, 则称之为多意算法。

算法设计 研究设计算法的一般规律和方法, 对现实生活中的问题, 设计出求解的算法。常用的算法设计方法有分治法、贪心法、动态规划法、回溯法、分枝限界法、局部搜索法等。

算法复杂度 衡量算法优劣的一种测度。可分为时间复杂度和空间复杂度, 分别表示对于输入规模为 n 的问题计算模型所使用的时间与空间, 它们都是 n 的函数。计算模型可以是图灵机或其他模型, 也可以是某种计算机程序设计语言。

算法分析 分析算法的复杂度, 或者研究某一问题类复杂度的下界。通常认为, 具有指数复杂度的算法在现实计算机中是难以使用的, 相对而言, 具有多项式复杂度的算法则是难度较低的。有一类称为 NP 完全问题的算法类, 是 70 年代以来算法研究的重大课题之一, 这类问题已经找到指数复杂度的算法, 但迄今为止既不能证实也不能否定它们存在着多项式复杂度的算法。

参考书目

陈增武, 电子计算机算法设计与分析, 杭州: 浙江大学出版社, 1986

(陈增武)

suiji cunchuqi

随机存储器 (random access memory, RAM) 见半导体存储器。

suiji kongzhi lilun

随机控制理论 (stochastic control theory)

研究随机系统的动态特性以及随机系统的分析和控制的理论,也称随机系统理论或随机系统控制理论或随机控制。客观存在的一切随时间变化的过程,往往受到某些不确定因素的作用。这些不确定因素通常又服从某种统计规律,这种具有统计规律性的不确定因素称为“随机因素”。例如,在工业生产过程中,用以表征该过程运行状况的变量(如温度、压力等),除了受到一些人为调节的控制量(如燃料流量、排气阀开度等)的影响外,还受到某些随机因素(如环境温度、外界气流等)的影响。随机因素有:随机输入信号、随机扰动和随机的系统特性等。这些随机因素起作用的系统称为随机系统。随机系统的数学模型一般是含随机过程的差分方程或微分方程。与随机系统相区别,如果系统的结构和参数是确定的、已知的,作用于系统的输入信号(包括扰动)也是确定的,可以用数学表达式或图表确切表示的,则这种系统就是确定性系统。由于随机因素总是或多或少地存在的,严格讲,真正的确定性过程或系统是没有的,只是由于随机因素影响小,可以略去不计,才能将很多系统视作确定性系统。

随机控制理论主要包括数学模型的建立、系统分析、系统估计、卡尔曼滤波、随机最优控制、系统辨识和参数估计、适应控制等。

数学模型的建立 模型与实际过程在统计意义下有等价的输入输出关系。模型要满足因果性假设等逻辑关系。与确定性系统类似,随机系统模型也分时域描述和频域描述、输入输出描述和状态空间描述。

系统分析 在很多方面可利用确定性系统分析的已有结果,例如,冲激响应函数、传递函数、可控性、可观测性、稳定性等。

系统估计 由于随机系统固有的不确定性,系统的状态和输出都表现为具有某种统计特性的随机过程。因此,在一般情况下,企图确定地测量系统在某个时刻的状态,或确定地预报系统状态和输出在未来时刻的变化,都是不可能的。随机控制理论运用数理统计中的估计理论来研究对系统状态或输出的估计。(见估计理论)

卡尔曼滤波 将与信号夹杂在一起的噪声尽可能地消除掉,将所需要的信号分离出来的一种状态估计方法。(见卡尔曼滤波)

随机最优控制 针对某个随机系统选择控制变

量,使得某个性能指标达到最优。(见随机最优控制)

系统辨识和参数估计 根据输入和观测估计实际系统的数学模型,是系统辨识问题;根据输入和观测估计实际系统的参数,是参数估计问题。(见动态系统辨识)

适应控制 随时辨识系统的数学模型,随时按此模型来调整最优控制律。(见适应控制系统)

参考书目

韩崇昭等著,随机系统理论,西安:西安交通大学出版社,1987

蔡尚峰等,随机控制理论,上海:上海交通大学出版社,1987

(童建中 于 勃)

sui ji zuoyou kongzh

随机最优控制 (stochastic optimal control)

选择控制变量,使随机系统某个性能指标达到最优的控制。在随机系统控制中,必须进行状态估计。应用不同的状态估计方法,会得到不同的解。因为系统的状态方程和观测方程一般都要受到噪声的干扰,系统的状态是不确定的,确切知道的只是已经获得的一组输出数据和已经施加于系统的控制输入。如何利用这些输入输出数据实时信息去估计系统的状态或输出,便构成了不同的信息结构。因此,随机最优控制问题的研究首先必须与信息结构相联系。信息结构分为经典信息结构和非经典信息结构。对于经典信息结构,每一时刻控制量的确定都利用了最大实时信息。而在非经典信息结构下控制量每个分量的确定利用了最大实时信息的一部分。

其次,随机最优控制问题还必须规定控制策略,即如何利用信息去处理被优化的性能指标,从而导致不同类型的控制函数。

开环控制策略是把优化性能指标中所有的随机量用其先验均值代替,从而简化为一个确定性的最优控制问题。这样得到的最优控制是一个开环控制函数

$$\bar{u}^*(t) = g[t, \bar{x}(t_0)] \quad t \geq t_0$$

式中 $\bar{x}(t_0)$ 是初始状态的均值。

闭环控制策略是在动态规划的每一步都要利用实时信息,控制是信息 $z(t)$ 的函数

$$u^*(t) = \phi[t, z(t)] \quad t \geq t_0$$

在随机的情况下,由开环控制策略得到的开环控制函数与由闭环控制策略得到的闭环控制函数,一般是不等价的。通常只有经典信息结构下的闭环最优控制,才是本来意义的最优控制。亦即,利用最大实时信息,并采用闭环控制策略,才能使被优化的性能指标在统计意义下达到最优。

对于线性二次型高斯 (LQG) 问题, 可以由分离定理给出其解析解。最优策略可以由两部分组成。一部分是个最优滤波器, 它按卡尔曼滤波公式求得 t 时刻的状态估计 $\hat{x}(t|t)$ 。另一部分是按确定型系统优化求得最优线性反馈, 用状态估计 $\hat{x}(t|t)$ 代替确定型反馈解中的状态 $x(t)$, 得闭环最优解。

(童建中 于 渤)

suidao erjiguan

隧道二极管 (tunnel diode) 具有隧道效应的半导体二极管。若在一个 PN 结二极管的 P 区和 N 区都大量掺入杂质, 则当二极管加上正偏压时, 其伏安特性曲线的一部分将出现负阻效应。因为大量掺杂质会产生一个非常薄的势垒区, 某些电子可以在小的正偏压下通过隧道穿过这势垒, 从 N 区进入 P 区, 因此这种二极管取名为隧道二极管。由于隧道效应是 1958 年日本学者江崎玲於奈首先发现的故又称为江崎二极管。但是, 仅当 N 区中满带的电子可以通过隧道进入 P 区的空带时, 才能产生隧道效应, 为此, 能带结构必须如图 1 所示。图中 W_{FN} 和 W_{FP} 表示费米能级的能量值。这样就能解释图 2 中的负阻特性, 即电流随电压的增加而减小的那段特性。当加上一个小的正向偏压时 [图 1 (a)], N 区中的满带与 P 区中的价

带的空带相对应出现。因此, 在一个小的正向偏压下

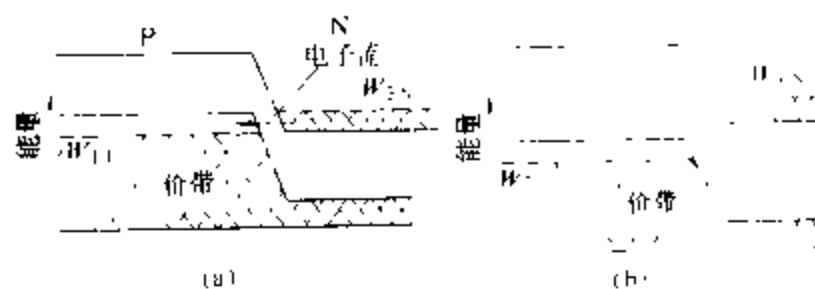


图 1 隧道二极管的能带图

(a) 小正偏压情况; (b) 大正偏压情况

电子可以从隧道穿过使电流增加。随着偏压的增加, 隧

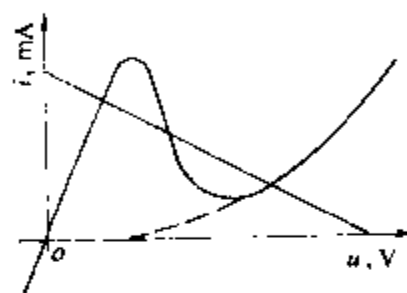


图 2 隧道二极管的
伏安特性

道电流减小, 形成图 2 中的负阻特性。当隧道电流降到零时, 曲线再次上升, 随后就像一般的加有正偏压的面结型二极管的特性一样。

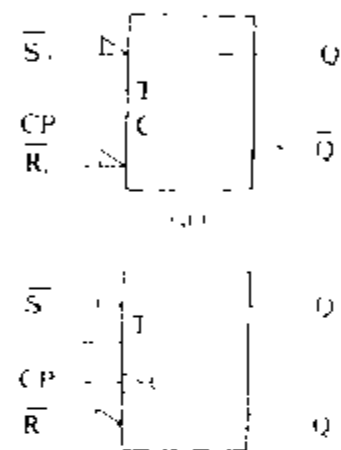
隧道二极管因其具有负阻特性可用于纳秒级的高速开关电路或高频振荡电路, 其振荡频率可达几千兆赫。

(康华光)

T

T chufaqi

T 触发器 (T flip-flop) 在时钟脉冲的有效作用时期内, 它的新输出状态取决于原来状态和输入端 T 状态的触发器。T 触发器的逻辑符号如图所示, 图中 T 为信号输入端, CP 为时钟信号输入端, Q 和 \bar{Q} 是两个互补输出端, 稳态时 Q 和 \bar{Q} 的逻辑状态相反。S_d 和 \bar{R}_d 是异步置位端和异步复位端, 通过在 S_d 和 \bar{R}_d 端加以低电平信号, 可以把触发器置 1 和置 0, 而不受输入信号和时钟信号的影响。



T 触发器的逻辑符号

T 触发器的逻辑功能如表所示, 其中的 Q^n 、 Q^{n+1} 分别表示触发器原来的状态 (亦称现态) 和新状态 (亦称次态)。从表中可以看出:

T 触发器的功能表

T	Q^{n+1}
1	\bar{Q}^n
0	Q^n

若 T=1, 则时钟信号到达后触发器的新状态与原来的状态相反, 即 $Q^{n+1} = \bar{Q}^n$; 若 T=0, 则时钟信号到达后触发器的状态不变。

目前生产的集成触发器产品中多半作成 JK 触发器和 D 触发器, 很少有作成 T 触发器的。不过, 只要经过简单的转接, 即可把 JK 触发器或 D 触发器转换成 T 触发器 (见触发器转换电路)。

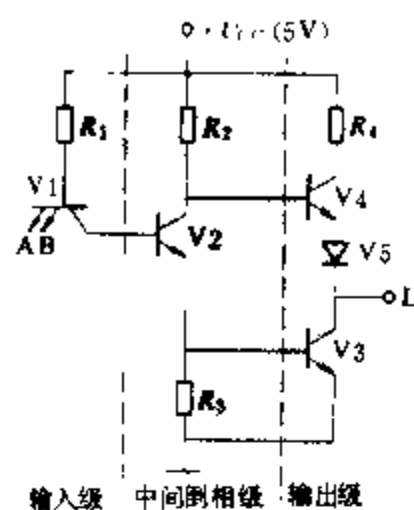
(阎 石)

TTL yufeimen

TTL 与非门 (TTL NAND gate) 集成电路输入级和输出级全采用晶体管组成的能实现与非逻辑关系的门电路。TTL 是用集成工艺做成的晶体管-晶体管逻辑电路 (Transistor-Transistor Logic) 的简称。与非门的真值表如表所示。典型的 TTL 与非门

电路如图所示, 该电路可分为输入级、输出级和中间倒相级三部分。

(1) 输入级: 由多发射极晶体管 V1 构成, 它有两个作用: 一是实现“与”功能; 二是 V2 管由饱和变为截止的过程中, 其基区存储电荷可通过 V1 管的 i_{c1} 加速消散, 使电路的工作速度提高。



(2) 输出级: 由 V3 管、V4 管及二极管 V5 构成推拉式输出电路。

典型的 TTL 与非门电路 V3、V4 互补式交替工作, 使得电路输出阻抗降低, 这样既可提高电路的负载能力, 又改善了输出电压波形, 提高工作速度。此外, V3 和 V4 在静态下无直流通路, 电路的静态功耗较小。

(3) 中间倒相级: V2 管的集电极与发射极输出互为倒相的电压, 以满足输出级互补式工作的要求。该级电路对门的负载能力及工作速度均有较大影响。

电路中, 任一输入端 (A 或 B) 为低电平时, 输出端即为高电平; 当所有输入端全为高电平时, 输出端即为低电平 (见表), 因此这个电路是正逻辑“与非”门 (即 $L = \overline{A \cdot B}$)。

与非门真值表

A	B	L
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

TTL 与非门的主要参数有: ①输出高电平 $U_{OH(min)}$ 和输出低电平 $U_{OL(max)}$; 输入高电平 $U_{IH(min)}$ 和输入低电平 $U_{IL(max)}$; ②输入短路电流 I_{IS} 和输入高电平的输入电流 I_{IH} ; ③扇出系数 N_o ; ④空载功耗; ⑤平均传输延迟时间 t_{pd} 等。

TTL 与非门是目前大量生产和使用的门电路, 其电路在不断改进, 以提高电路的开关速度。在 TTL 门电路产品中, 还有一些其他功能的产品, 例如与门、非门、或门、或非门、与或非门、异或门、集电极开路门及三态逻辑门等。

(汤之璋)

tanhuagui

碳化硅 (silicon carbide) 一种化合物半导体材料, 分子式 SiC。有两种结晶形态: ①六角晶系, 又称 α -SiC, 禁带宽度约 3.0 eV。②立方晶系, 又称 β -SiC, 禁带宽度约 2.6 eV。他们都是共价键化合物半导体。通过 III、V 族元素掺杂, 可分别形成 P 型或 N 型导电特性; 对温度与可见光敏感, 无天然产物, 将焦炭

与石英混合加热至 2200~2400℃可制得含有杂质的灰绿色或黑色碳化硅多晶颗粒,2500℃以上发生升华,难以生成单晶。其主要用途是:①作短波长发光二极管。用液相外延生长法制成。②作非线性陶瓷电阻。用碳化硅细粒加入适量的粘土或玻璃压制成型,再在还原性气氛下经高温烧结而成,瓷体呈灰黑色,密度 3.2g/cm³。③作发热材料和导热绝缘材料。在碳化硅中添加少量氧化铍热压成型的陶瓷,其导热系数大于金属铝,而绝缘性及膨胀系数与硅相近,可作半导体器件和大规模集成电路的衬复材料。

(刘辅宜)

Tangsen fangdian lilun

汤森放电理论 (Townsend theory) 以英国物理学家 J. S. 汤森 (J. S. Townsend) 命名的气体放电理论。此理论是在 1903 年由汤森提出的。这种理论认为:气体间隙中发生的碰撞电离以及阴极上发生的二次电子发射过程是气体间隙击穿的主要机制。他最早定量地解释了气体放电过程。

气体间隙中的碰撞电离和电子崩 用紫外线或放射源辐照一个低气压的间隙,则会在阴极上产生自由电子。自由电子在电场的作用下从阴极飞向阳极,并在加速过程中获得能量。如果外电场足够强,则电子在它的飞行路径上和原子、分子相碰撞时,要发生碰撞电离,并产生新的自由电子,即发生电子的倍增;原有的和新生的电子在继续飞向阳极的过程中,又会发生新的碰撞电离,再发生电子倍增。如此继续下去,将出现电子“雪崩”似地增加,结果会形成一个头部为球形尾部为圆锥形的电子崩。图 1 是用云室获得的电子崩形象。

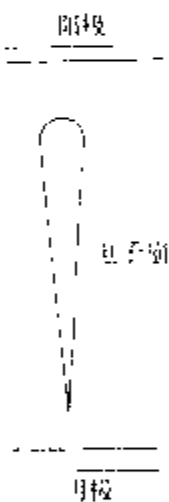


图 1 电子崩

碰撞电离系数 α 为了定量地描述电子碰撞电离的作用,而引入一个系数 α ,它表示电子从阴极飞向阳极的过程中,沿着电场方向在单位长度上所发生的碰撞电离次数。设 n_0 为阴极处的初始电子数,当它们飞过间隙距离 d 而达到阳极时,由于电子碰撞电离的作用,在阳极处的电子数 n 增加为

$$n = n_0 e^{\alpha d} \quad (1)$$

或写成电流 i 的形式为

$$i = i_0 e^{\alpha d} \quad (2)$$

式中 i_0 为初始电流。系数 α 和气体的种类、气压 p 及电场强度 E 有关。通常 α 可以用下式表达:

$$\alpha = p A e^{-B/(E/p)} \quad (3)$$

式中 A 和 B 是常数。

阴极上发生的过程和系数 γ 在间隙中由于电子碰撞电离,不仅产生新的电子还要产生正离子。正离子向阴极运动,当它打到阴极时,会产生二次电子发射,使间隙中的电子进一步增加。这个过程称为 γ 过程。系数 γ 定义为一个正离子打到阴极时所释放的二次自由电子数。更准确地说, γ 过程是间隙中的正离子、光子和亚稳态

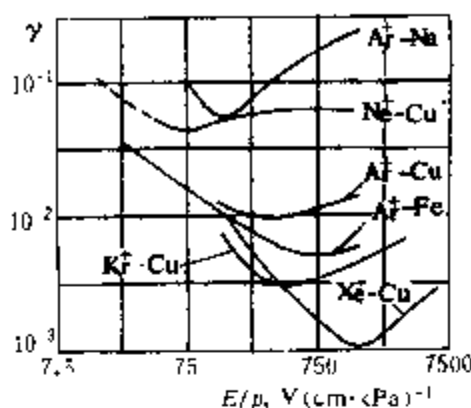


图 2 惰性气体中不同阴极材料的总的 γ 值

原子撞击阴极时所引起的总的二次电子发射效应(见阴极电子发射)。系数 γ 的数值和气体及阴极材料的种类、 E/p 值以及阴极的表面状态有关。图 2 是惰性气体离子 (Ar^+ , Ne^+ , Kr^+ , Xe^+) 及不同阴极 (Na , Cu , Fe) 组合下的总的二次发射系数 γ 。处于空气中的铝、铜、铁的 γ 数值大致分别为 0.035、0.025 和 0.02 (在气压较低、 E/p 值较大时所得的数值)。

自持放电条件 考虑到电子碰撞电离和阴极上发生的 γ 过程,从阴极出发的 n_0 个电子达到阳极时,其数目增加为 n ,

$$n = n_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (4)$$

对应的电流为

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (5)$$

产生自持放电的条件是式 (5) 的分母为零,即

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (6)$$

式 (6) 也叫做间隙击穿条件、汤森击穿判据等。式 (6) 或立时表示:初始电流 $i_0=0$,即没有外界电离条件时,放电电流仍存在 ($i \neq 0$),即已进入自持放电。在式 (6) 中,系数 α 和 γ 都随着 E/p 的增加而增加,当 E/p 达到某一数值时,间隙击穿。式 (6) 的物理意义为:当一个电子从阴极出发到达阳极时,由于碰撞电离而产生的正离子数应为 $(e^{\alpha d} - 1)$;这些正离子反回来打到阴极上产生的二次电子数为 $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$ 。当电场足够强时, $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$,即在阴极上新产生的电子数代替了原有的初始电子数,使电子发生雪崩增长的过程得以持续下去。当然,二次电子也可能是由光子或亚稳态原子打到阴极上而引起的。

自持放电条件式 (6) 中只包括 α 和 γ ,表明只有 α 和 γ 过程。实际上在放电间隙中还存在正离子碰撞引起的碰撞电离,称为 β 过程。通常 β 过程的影响很小,可忽略不计。

在负电性气体中,存在电子附着过程,即负离子的形成过程,使间隙中的电离程度减弱,从而导致击穿电压升高。这种过程用一个系数 η 来表示, η 是一个电子在电场方向单位长度上发生附着碰撞的次数。此时的自持放电条件应修改为

$$\frac{\alpha\gamma}{\alpha-\eta}[e^{(\alpha-\eta)d}-1]=1 \quad (7)$$

汤森理论的适用范围 它适合气压值较低、 pd 值较小、电场均匀的场合。它可以解释许多气体击穿现象。如由汤森理论可以解释 pd 值对间隙击穿电压的影响,即巴申定律。又如,它还可以解释电负性气体的击穿电压较高等现象。但是当 pd 太大或太小时,汤森理论均不大适用。在高 pd 值时,放电通道呈树枝状,放电时延很小,放电电压和阴极材料关系不大或没有关系。由于这些现象都无法用汤森理论来解释,从而推动了另一种气体击穿理论——流注放电理论的发展。当气压 p 很小时,或间隙处于高真空时,电子的平均自由程很大,不易发生碰撞电离,此时要采用真空击穿的理论。

参考书目

杨津基, 气体放电, 北京: 科学出版社, 1983

朱德恒, 严璋主编, 高电压绝缘, 北京: 清华大学出版社, 1992

(罗承沐)

Telegen dingli

特勒根定理 (Tellegen theorem) 以特勒根命名的电路基本定理。1952年由荷兰人B. H. 特勒根(B. H. Tellegen)提出。此定理具有相当普遍的适用性,在电路的分析中获得多方面的应用。例如电路中无功率守恒的证明,互易定理的证明等都可以从特勒根定理出发而得到解决。

特勒根定理用于一个网络 对于集总参数网络,不论其拓扑结构如何,支路由何种元件组成,根据特勒根定理恒有

$$\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0$$

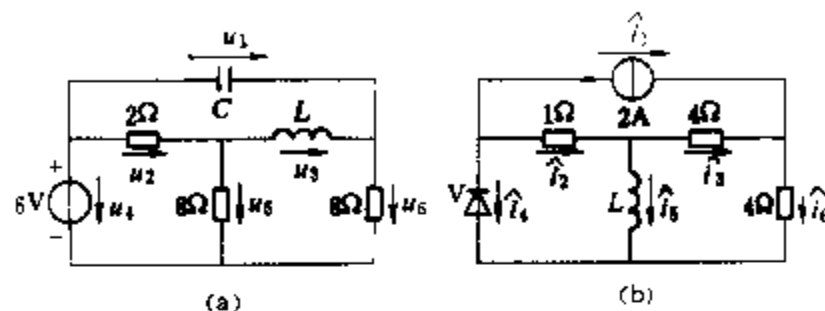
式中 u_k 、 i_k 分别是该网络的第 k 个支路的支路电压和支路电流,并规定电压、电流的正方向相一致; b 为网络中全部支路数。这一形式体现出网络中的功率守恒关系。

特勒根定理用于两个网络 两个拓扑结构相同而支路组成无需相同的集总参数网络 N 和 \hat{N} ,若两网络的支路编号相同且各支路电压、电流正方向相一致,则特勒根定理指出:两网络中各对应电压、电流乘积的和为零,即有

$$\sum_{k=1}^b u_k \hat{i}_k = 0 \quad \text{或} \quad \sum_{k=1}^b \hat{u}_k i_k = 0$$

式中 u_k 、 i_k (或 \hat{u}_k 、 \hat{i}_k)为网络 N (或 \hat{N})的第 k 个支路的电压和电流。例如对于图中两个网络,有

$$\begin{aligned} \sum u_k \hat{i}_k &= u_1 \hat{i}_1 + u_2 \hat{i}_2 + u_3 \hat{i}_3 + u_4 \hat{i}_4 + u_5 \hat{i}_5 + u_6 \hat{i}_6 \\ &= 0 \end{aligned}$$



拓扑结构相同的两个网络

(a) 网络 N ; (b) 网络 \hat{N}

特勒根定理揭示的关系与支路元件的组成无关。对于线性、非线性、非时变、时变网络,特勒根定理都普遍成立。

(江慰德)

tesla

特斯拉 (tesla) 国际单位制(SI)中磁感应强度的单位。特斯拉简称特,符号是T。将带有1A恒定电流的直长导线垂直放在均匀磁场中,若导线每米长度上受到1N的力,则该均匀磁场的磁感应强度定义为1T。

(肖达川)

texing zukang

特性阻抗 (characteristic impedance) 见传输线。

tiji xiaoying

体积效应 (volume effect) 见液体电介质小桥击穿。

tidai dingli

替代定理 (substitution theorem) 用独立电源替代电路中某个二端元件的定理。当一个二端元件和一个有源网络相连时,则在此确定的工作状态下,可以用一个独立电压源或独立电流源来代替这个二端元件,而不影响有源网络中的电压和电流;此独立电压源或电流源的数值和方向就等于这二端元件上的电压和电流的数值和方向。图1(b)与(c)中示出了应用替代定理将图1(a)中的二端元件替代的情况。

例如图 2 (a) 所示电路, a、b 端子右侧接有二端元件——阻值为 R 的电阻, 端电压为 4 V , 流过电流为 2 A 。图 2 (b)、(c) 分别为将 4 V 电压源和 2 A 电流源替代电阻 R 后的电路, 经这样替代后 a、b 端左侧网络中的电流和电压均不改变。

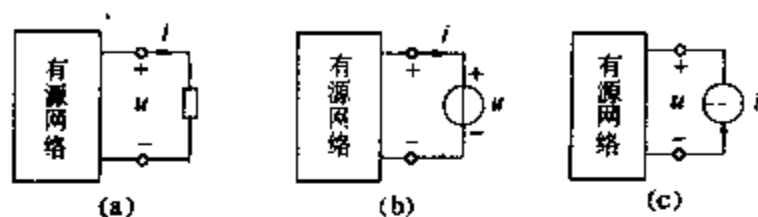


图 1 用独立电源替代二端元件的电路图
(a) 原网络; (b) 用电压源替代; (c) 用电流源替代

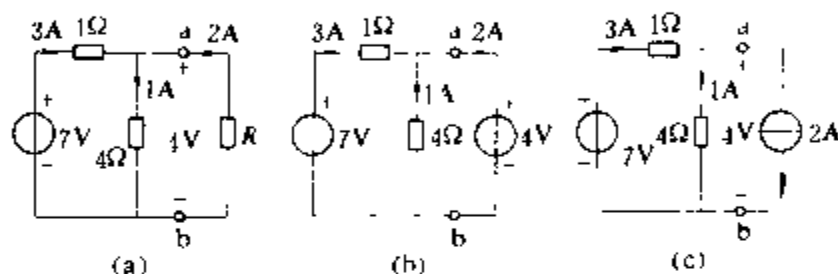


图 2 替代定理的应用举例
(a) 原网络; (b) 电阻 R 以电压源替代; (c) 电阻 R 以电流源替代

替代定理不仅限于用电压源或电流源替代二端元件, 也可推广用于替代二端网络 (无源或有源), 其端口电压、电流可以是任一时间函数。

利用替代定理可以简化网络, 有时可以给网络的分析和计算带来方便。应用替代定理时, 要求替代后的电路有唯一解, 以及原网络中两侧网络之间无控制关系 (受控源或电感耦合等)。

(江懋德)

tiaojie dianzu cailio

调节电阻材料 (materials for regulation resistance) 用于制造变阻器的材料。其作用是调节电流的大小, 在稳定性及电阻温度系数方面无严格要求, 但要求有较高的机械强度、较好的加工性能、耐磨性能和耐腐蚀性能, 同时要求价格便宜。常用的调节电阻材料有铁铬铝合金、镍铬铁合金、铜镍合金、铜铬合金、碳和石墨、水和电解质的水溶液等。

铁铬铝合金、镍铬铁合金 是电工技术中应用广泛的大电流调节变阻器材料。镍铬铁合金具有较高的电阻温度系数。如增加镍铬含量, 减少铁的相对含量, 则情况有所改善。铁铬铝合金的电阻温度系数优于镍铬铁合金。

铜镍合金、铜铬合金 广泛用于制造中小型电流

调节变阻器。

碳和石墨 用于制造大电流变阻器。通常将板状炭或石墨叠合使用, 其紧密接触程度随施加的压力而变化, 改变压力便可以改变电阻数值。也可使用碳粒。

水或电解质的水溶液 常用作大容量的交流变阻器。其优点是成本低、调节方便, 通过改变电解质的浓度或极板间的距离便可以改变电阻值。

(黄嘉豫)

tiaoshi chengxu

调试程序 (debugger) 用来辅助程序研制和调试的一种交互式的实用程序。一般说来, 调试程序按指示出错位置的语句类型, 可分为汇编级调试程序和源程序级调试程序。调试程序按照它所需要的环境和结构, 可分为在编译程序 (或解释程序) 中嵌入的调试软件和不依赖于语言的通用交互调试程序。调试程序通常与被调试程序一起运行。

调试程序的功能有: ①为被调试程序设置和清除执行时的断点, 使程序员可以在断点处查看各种执行的现场信息; ②跟踪程序的执行, 可以单步或多步执行程序并显示每步的寄存器和状态等信息; ③显示和修改指定的寄存器或存储单元的内容; ④将控制转换到被检测的程序的某一位置去执行; ⑤将可执行程序进行反汇编, 即将二进制的机器代码转换成汇编指令; ⑥接收并翻译汇编程序, 在调试状态下可以输入汇编代码并能被自动翻译成二进制的机器代码; ⑦在存储器和磁盘、存储器和打印机等之间进行信息转储; ⑧在指定存储器中查找所需要的字符串; ⑨在存储器中进行存储块的移动或修改; ⑩对端口地址操作, 实现对端口地址内容的输入、输出或显示。

程序员可以动态地使用调试程序的功能, 检查程序中的错误。调试程序还可以用来研制或修改程序, 使用其反汇编和跟踪功能解剖分析程序。

(金连甫)

tiaozhiqi

调制器 (modulator) 用调制信号控制载波信号三个参数 (振幅、频率或相位) 之一瞬时值的电子电路。被控参数为振幅时称为调幅器 (amplitude modulator), 被控参数为频率时称为调频器 (frequency modulator), 被控参数为相位时称为调相器 (phase modulator)。调制器在通信、信号处理和自动控制系统中得到广泛应用。

调幅器 实现调幅的具体电路有多种。图 1(a) 所示为利用一个模拟乘法器 (见模拟乘法器) 来实现的原理电路。 $u_m(t)$ 为调制信号, $u_c(t)$ 为载波信号, 且 ω_c

$\gg \omega_m$, K 为模拟乘法器的增益系数。设 $u_m(t) = u_m \cos \omega_m t$; $u_c(t) = u_c \cos \omega_c t$ 则

$$u'_o(t) = KU_m U_c \cos \omega_m t \cos \omega_c t = U'_c \cos \omega_c t \quad (1)$$

式(1)中,乘法器的输出电压的振幅 $U'_c = KU_c U_m \cos \omega_m t = KU_c U_m(t)$ 受调制信号 $U_m(t)$ 控制,故称振幅调制器,简称调幅器。式(1)又可化为

$$u'_o(t) = \frac{1}{2} KU_c U_m [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (2)$$

式(2)的频谱特性如图1(b)所示,以 ω_c 为中心,两边对称出现上边频信号 $\omega_c + \omega_m$ 和下边频信号 $\omega_c - \omega_m$,二者的振幅相同,故又称平衡调制。

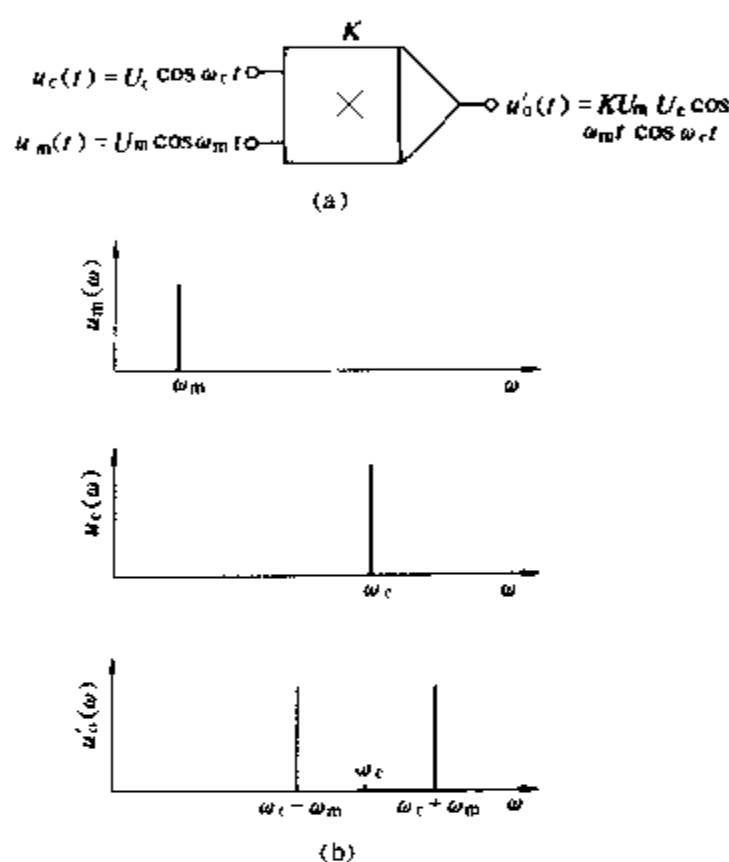


图1 调幅器

(a) 框图; (b) 输出电压的频谱特性

以上所述,包含信息的调制信号只含单一频率。在通信系统中,要传送的信息例如音乐总是包含多个频率,是一个频带,如 300 Hz~8 kHz,所以,这时的调制信号是包含多个频率的,它的频谱如图2(a)所示。若载波信号仍然是 $u_c(t) = U_c \cos \omega_c t$,则乘法器输出的已调制信号 $u_o(t)$ 的频谱如图2(b)所示,取载波

频率 $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = 100 \text{ kHz}$ 。由图可见,乘法器的输出包含

上下两个频边带的信号,二个边带都包含着原始的信号。这种调幅系统又称双边带调制。通信机没有必要将这种双边带调制过的信号都发射到远方,因为这样将大大增加成本和占有频道,为此,有必要在乘法器后面加一个带通滤波器,如图2(d)所示。例如,欲取出图2(b)中的上边带信号抑止下边带信号,带通滤波器的带宽 $\Delta f = 8 - 0.3 = 7.7 \text{ (kHz)}$,中心频率 f_0 为

$$\frac{100.3 + 108}{2} = 101.65 \text{ (kHz)}.$$

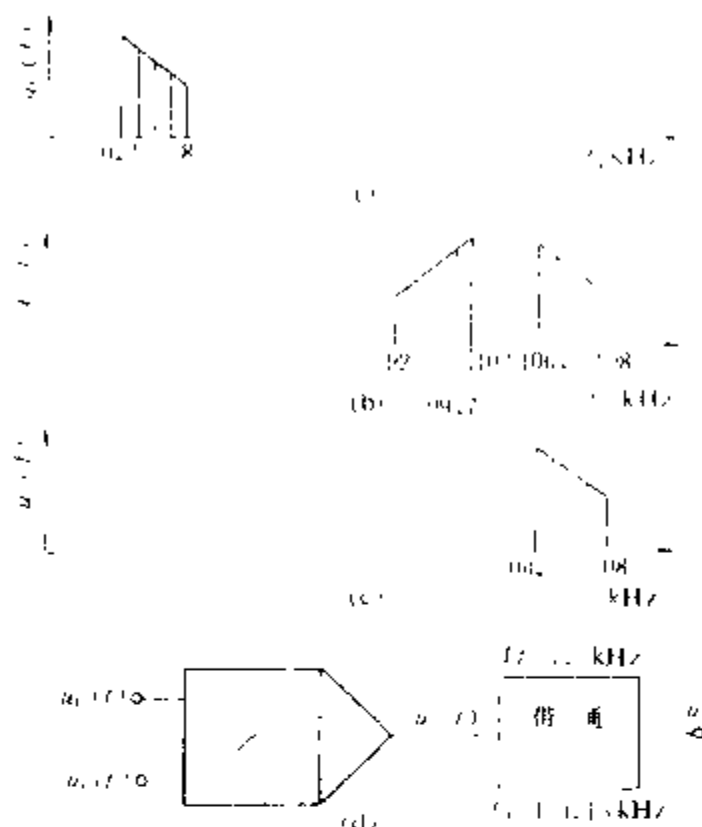


图2 双边带调制的频谱

(a) 调制信号 $u_m(t)$ 的频谱; (b) 已调制信号 $u_o(t)$ 的频谱; (c) 带通滤波器输出的上边带 $u_o(t)$ 的频谱; (d) 取用上边带信号的框图

振幅调制器有多种方案,如串联双二极管调幅电路、晶体三极管调幅电路等。

调频器 调频器的电路可分为直接调频和间接调频二类。间接调频的原理是:先对调制信号进行积分,再对载波信号进行调相,其输出即为已调频的信号。间接调频的优点是载波频率稳定,但频移小,电路复杂。

直接调频是直接改变振荡回路的元件参数或直接控制振荡器的工作状态来实现调频的。它的优点是频移较大,线路简单,但载波频率稳定性较差。

图3是利用变容二

极管的直接调频电路。图中: V_1 、 L_1 、 C_1 、 R_1 、 R_2 、 C_2 构成正弦波振荡器; V_2 、 L_2 和电源 U 组成变容二极管偏置电路; $u_m(t)$ 为调制信号; $u_o(t)$ 为已调频信号; L_2 是高频扼流圈,它阻止高频输出电压 $u_o(t)$ 通过,以免影响调制电压 $u_m(t)$,而允许低频的调制电压 $u_m(t)$ 通过去改变变容二极管 V_2 的两端电压,从而改变 V_2 的电容,达到改变正弦振荡器输出频率的目的。

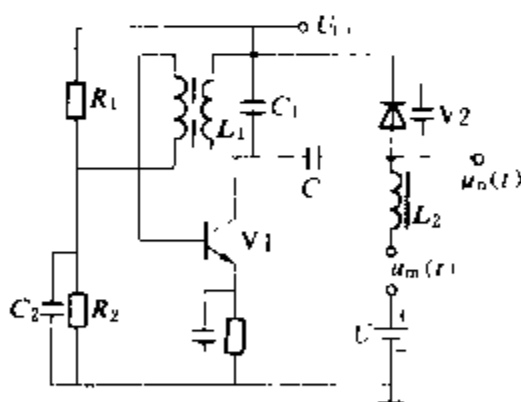


图3 用变容二极管的调频电路

调相器 调相器的电路也可分为直接调相和间接调相二类,图4为利用移相网络来直接调相的原理电路。

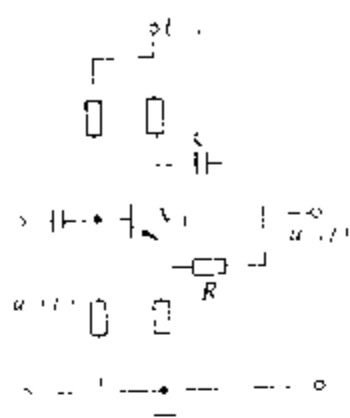


图4 用移相网络进行直接调相的电路图

图中 \$V_1\$ 组成倒相电路, \$u_o(t)\$ 为载波电压, 集电极输出电压为 \$-U_c\$, 发射极输出电压为 \$U_c\$; 在集极与射极之间接一 \$RC\$ 移相网络, 已调相电压 \$\dot{U}_o\$ 等于射极电压 \$\dot{U}_c\$ 与 \$R\$ 两端电压 \$\dot{U}_R\$ 的相量和, \$u_o(t)\$ 与 \$u_c(t)\$ 之间的移相角为 \$\varphi=2\omega_c CR\$, 可见: 改变电容 \$C\$ 之值即可改变移相角 \$\varphi\$。用变容二极管代替电容 \$C\$, 并用调制电压 \$u_m(t)\$ 改变变容二极管的电容值, 即可获得已调相电压 \$u_o(t)\$。

(何金茂)

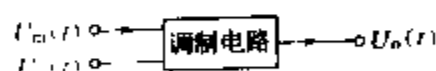
tiaozhi yu jietiao dianlu

调制与解调电路 (modulation and demodulation circuit) 用一个较低频率的信号去控制另一个较高频率的信号的某一参数(振幅、频率、相位)的电子线路称为调制电路, 实现从已调制信号中恢复原始信号

的电子线路称为解调电路。

调制、解调技术广泛用于通信、广播电视、自动控制及检测系统中。例如, 在无线通信中被传输的原始信号 \$U_m(t)\$ 是某人的讲话、音乐等音频信号。音频信号容易被大气层吸收, 不易传输到远方。要将音频信号传输到远方, 首先需要将音频信号调制到另一个频率高得多的载波信号 \$U_c(t)\$ 上去, 得到一个已调制信号 \$U_o(t)\$, \$U_o(t)\$ 通过发射机就能传输到远方去。在远方通过接收机接收到 \$U_o(t)\$, 然后再通过解调电路恢复出原来的音频信号。

调制电路的方框图如图所示。图中



调制电路方框图

调制信号 \$U_m(t) = U_{mm} \times \sin \omega_m t\$; 载波信号

\$U_c(t) = U_{cm} \sin \omega_c t\$; 通常 \$\omega_c \gg \omega_m\$。调制电路的输出信号

\$U_o(t)\$ 称为已调制信号。根据已调制信号被调制参数的不同, 调制电路可分为振幅调制、频率调制和相位调制三种类型。

(1) 振幅调制电路。已调制信号的振幅按调制信号的瞬时值成正比变化, 即

$$U_o(t) = (U_{CM} + KU_{mm} \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \\ = U_{CM} (1 + m_a \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \quad (1)$$

式(1)中 \$m_a = \frac{KU_{MM}}{U_{CM}}\$ 称为调幅度, 总是满足 \$m_a \leq 1\$。\$K\$ 为调幅比例系数。

• 314 •

(2) 频率调制电路。已调制信号的频率按调制信号的瞬时值成正比变化, 即

$$U_o(t) = U_{CM} \sin [(\omega_c + k_f U_{MM} \sin \omega_m t)t] \quad (2)$$

式(2)中 \$k_f\$ 为调频比例系数。

(3) 相位调制电路。已调制信号的相位角按调制信号的瞬时值成正比变化, 即

$$U_o(t) = U_{CM} \sin (\omega_c t + k_p U_{MM} \sin \omega_m t) \quad (3)$$

式(3)中 \$k_p\$ 为调相比比例系数。

实现调制与解调的具体电路见调制器与解调器。

(何金茂)

tiecixiezhen dianlu

铁磁谐振电路 (ferro-resonance circuit)

带铁芯的电感线圈和电容组成的电路。在正弦电源激励和电路参数合适的条件下, 铁磁谐振电路可产生对基波(其频率为激励频率)、高次谐波或次谐波的谐振现象。电力系统中, 如果系统某部分的结构和参数配合不当时, 有可能使带铁芯的线圈(如空载变压器绕组或电压互感器绕组)与线路对地电容形成铁磁谐振, 从而产生过电压使电气设备的绝缘受到威胁。

由于铁芯的磁饱和现象, 铁芯线圈的电感是非线性的。在线性电感和线性电容串联构成的串联谐振电路中, 只有改变电源频率至谐振频率才能出现谐振现象; 但在铁磁谐振电路中, 维持电源频率不变, 改变电源电压有效值至某一数值, 也可以使电路进入谐振状态。在这种电路里, 还可以出现跳跃现象。

谐振现象 图1所示为由正弦电压源和铁芯线圈、电容器组成的串联谐振电路。

图2为铁芯线圈的伏安特性。

图2中, \$U\$ 是线圈电压的有效值, \$I\$ 是线圈电流的有效值。图中的伏安特性的形状和铁磁材料的磁化曲线的形状类似。图

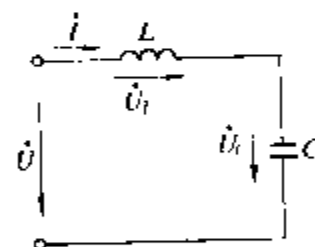


图1 铁磁谐振电路

1中的电容 \$C\$ 是常数, 电容电压的有效值 \$U_C\$ 和电流 \$I\$ 成正比。线圈电压的相位和

电容电压的相位, 基本上相差 \$180^\circ\$。因此两电压之差的绝对值 \$|\dot{U}_L - \dot{U}_C|\$ 几乎和电源电压的有效值 \$U\$ 相等。图

3是电源电压 \$U\$ 随电流 \$I\$ 变化的曲线, 该曲线由理论分析得出。当电流 \$I = I_0\$ 时, 电压 \$U\$ 为极小值。此时, 电路发生谐振, \$U_L = U_C\$。\$I > I_0\$ 时, \$U_C > U_L\$, 电路呈现容性。\$I < I_0\$ 时, \$U_L > U_C\$, 电路呈现感性。



图2 铁芯线圈的伏安特性

时, \$U_C > U_L\$, 电路呈现容性。\$I < I_0\$ 时, \$U_L > U_C\$, 电路呈现感性。

跳跃现象 图3中曲线的AC段, 曲线下倾。这一段曲线, 在实际电路中是观察不到的。图

4为测绘图3所示伏安特性的实验线路。图4中电源电压的频率维持不变, 但有效值可连续变化, 其值 U 由电压表测出, 电

流 I 由电流表测出。图5是由图4得到的实验结果。当

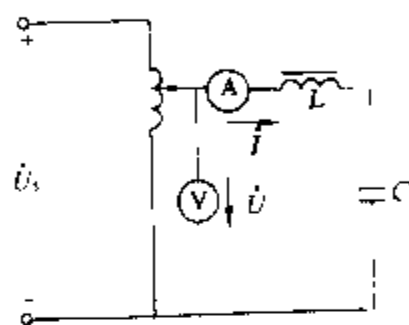


图4 铁磁谐振电路特性的测试

电压 U 由零增大时, 电流 I 沿曲线OA段上升。一旦电压达到 U_A , 工作点跳变到图中B点, 电流呈现跳跃性增加。此后, 工作点一直在曲线BE上变动。当电源电压由 U_E 下降时, 电流 I 沿曲线EBC

减少, 到 U_C 时, 工作点由C点跳变到D点, 电流呈现跳跃性下降。电流的跳跃性变化, 可由图4中的电流表读出。

次谐波 次谐波的频率通常是电源电压频率的 $1/3$ 、 $1/5$ 等, 或者说它的周期是电源电压周期的3倍、5倍等。它又称作 $1/3$ 次谐波、 $1/5$ 次谐波, 以说明次谐波的周期。在电路参数的某种配合下, 铁磁谐振电路可能出现次谐波。此时, 电流或电感电压的次谐波的振幅, 可以大于电流或电感电压的基波振幅。

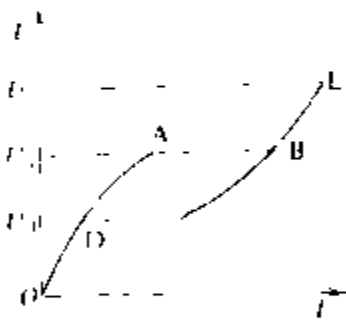


图5 铁磁谐振电路中的跳跃现象

(江慰德)

tiexing

铁磁性 (ferromagnetism) 以铁为代表的元素(包括铁族、稀土族、铜族元素金属、合金及化合物)在外磁场作用下所表现的一种磁性。铁磁性是一种强磁性, 其主要特征为:

(1) 磁化率很大且随外磁场强度而变化。具有铁磁性的物质(简称铁磁质)在磁化过程中, 当外磁场强度增大到一定值时, 将出现磁饱和现象, 这时磁化强度不再随外磁场强度增加; 当外磁场撤去后, 铁磁质能保持一定的磁性, 呈现剩磁现象。

(2) 铁磁质有一特征温度 T_c , 称为居里温度, 在

该温度以上, 铁磁质转变为顺磁质。不同铁磁质居里温度不同。

(3) 在磁化和去磁化过程中, 铁磁质的磁化强度不仅依赖于外磁场强度, 而且依赖于它所经历的磁状态的历史, 即呈现磁滞现象(见磁滞回线)。

过渡族元素Fe、Co、Ni, 稀土元素Gd、Tb、Dy、Ho、Er和某些铜族元素以及它们的合金、化合物所表现的磁性为铁磁性。在过渡族中靠近Fe但不具铁磁性的一些元素的合金也具有铁磁性, 如Mn—Cu—Sn, Cr—Pt等。

铁磁性的成因可用磁畴理论加以说明, 近代理论和实验证明, 铁磁性主要来源于电子自旋磁矩。

在铁磁质中, 相邻电子间有一种很强的“交换耦合”作用, 使得在没有外磁场时, 电子自旋磁矩在一个个小区内“自发

地”同方向排列起来, 这样形成的自发磁化区称为磁畴(见磁畴与畴壁)。

在未经磁化的铁磁质中, 各磁畴的自

发磁化方向不同, 因此铁磁质样品在宏观上不呈现磁性, 见图(a)。在外加磁场后, 样品宏观上呈现磁性, 这一过程常称为技术磁化。现已知技术磁化是通过磁畴壁移动和磁畴磁化方向转动两种不同过程实现的。图(b)示意在加外磁场后, 畴壁的移动使自发磁化方向与外磁场方向一致的磁畴扩大、与外磁场方向相反的磁畴缩小; 图(c)示意磁畴自发磁化方向的转动。显然, 畴壁的移动和磁畴自发磁化方向转动的结果都将使在外磁场中的铁磁质样品磁化, 宏观上呈现磁性。当所有磁畴磁化方向都按外磁场方向排列好, 磁化即达到饱和。由于各磁畴中所有电子自旋磁矩已完全排列整齐, 它的磁化强度是非常大的, 这就是铁磁质磁性强的原因。

铁磁质里的掺杂和内应力在外磁场去掉后阻碍着磁畴恢复到原来的退磁状态, 这就是出现剩磁和磁滞现象的主要原因。

当铁磁质受到强烈震动, 或在高温下由于剧烈热运动的影响, 磁畴便会瓦解, 这时与磁畴形成有关的各种铁磁性性质全部消失。

(吴百诗)

tiedian cailiao

铁电材料 (ferroelectric materials) 呈现电滞现象的电介质。具有一个或多个铁电相的晶体称为铁电体。所谓铁电相是指在某个温度范围内晶体不

仅存在自发极化,而且自发极化强度可随外加电场重新定向的一种状态。晶体的自发极化能被外电场重新定向的这种性质称为铁电性。铁电体的极化强度和外加电场强度之间呈现出电滞现象,类似于铁磁体的磁滞回线,因此,用电滞回线描述电滞现象。铁电体内自发极化方向一致的微小区域称为电畴。电畴随外加电场反向而反转时具有某种滞后特性,因而宏观上铁电体就显示出电滞现象。铁电体的重要特征是存在一个结构相变温度 T_c ,即晶体由低温的铁电相转变为高温的非铁电相的温度。此温度称为居里点。铁电体的介电、弹性、光学和热学性质等在 T_c 附近出现反常现象。在 T_c 以上顺电区域内,电容率与温度的关系遵循居里-外斯定律。反铁电体的结构和铁电体相近,但相邻的子晶格却是沿反平行方向产生自发极化的,因此,宏观性能上,反铁电体和铁电体既有相同之处,也有不同之处,在某些条件下,如外加强电场可以使反铁电相转变为铁电相。由于铁电体是热释电体的一个亚族,因此,铁电体从本质上来讲总是具有压电性和热释电性。

1921年J. 瓦拉塞克(J. Valasek)首先发现罗息盐($\text{NaKC}_2\text{H}_3\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)具有电滞回线这样的铁电性,以后又相继发展了钛酸铅(PbTiO_3),钛酸钡(BaTiO_3)和钛锆酸铅(PZT)等三元系和四元系铁电陶瓷和透明铁电陶瓷等。

铁电材料按照形态特征和性质可以分为:①铁电单晶体;②铁电陶瓷多晶体;③铁电薄膜;④铁电复合材料。

典型的铁电材料有钛酸钡(BaTiO_3)、磷酸二氢钾(KH_2PO_4)等。铁电材料主要用作电容器材料(高介电性的应用)和压电材料。随着电子设备向集成化、体积小、轻、薄方向发展,表面贴装技术(SMT)已占据主导地位。陶瓷电容器已从带引线的单片电容器,向有效电容率为100000~200000的片式多层电容器和晶界层电容器发展。此外,在信息存储、图像显示和全息照像等方面亦开始应用。

(余尚银)

tongdao

通道 (channel) 一种把外围设备和主存储器连接起来的数据通路。用于替代中央处理机对外围设备和数据的输入输出操作控制。通道与中央处理机、主存储器及外围设备的连接如图所示。双线代表数据线,单线代表控制线,由于中央处理机和通道可以分时使用主存储器,从而实现中央处理机内部运算和外围设备并行操作。

通道的结构和功能随着机器及所连接的外围设备的不同而差异很大。按通道和中央处理机的独立程度

可分为:①结合型通道。在硬件结构上和中央处理机组合在一起,利用中央处理机的某些部件作为通道部件,其结构简单,但通道功能较弱,效率较低。②独立型通道。在硬件结构上和中央处理机完全独立,通道功能强,效率高,但设备成本也高。



通道连接框图

由于外围设备种类繁多,数据传送方式和速度差别甚大,为了提高通道的使用效率,根据通道传送数据方式的不同,通道可分为字节多路通道、选择通道和数组通道三种类型。

字节多路通道 按字节传送数据的操作方式,无论是输入或输出,每传送完一个字节后,通道就与设备控制器新开,而去为别的需要传送数据的设备控制器服务,从而使外围设备交叉使用通道传送数据,因此又称为字节交叉传送。主要用于连接大量的低速或中速的外围设备,例如控制台打印机、键盘终端机、卡片输入机等。一个字节多路通道,包含多个按字节传送数据的子通道,所谓子通道是指能够执行通道程序,独立执行输入输出操作的部件,可以连接若干台外围设备。

选择通道 一个通道可连接多个外围设备,每次只能选择一个设备,连续传送数据直至送完。选择通道不再分子通道,一次只能执行一个通道程序。一个设备和主存储器进行数据传送操作时使独占了整个通道,数据按成组传送,所以又称快速通道。主要用于连接高速的外围设备,例如磁带机等。

数组通道 将字节多路通道和选择通道的优点结合在一起的一种通道结构,也称数组多路通道。数组通道含有多个子通道,可以同时执行多个通道程序,但数据的传送是成组传送(外围设备交叉使用通道传送数据)。这种通道主要用于多个高速旋转的外围设备,例如磁盘。

(汪日康)

tongxin kongzhi chuliqi

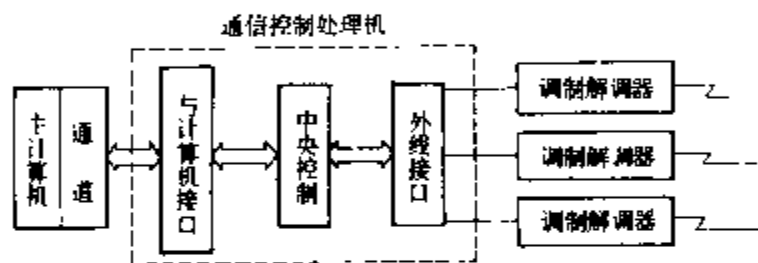
通信控制处理机 (communication control processor) 在计算机网络中,用于通信控制的处理机,简称通信处理机。通信控制处理机是主计算机和终端设备接入计算机网络的接口设备,因此又称通信接口处理机。

通信控制处理机是一台完整的计算机,有功能较强的指令系统和灵活的中断系统,有较大容量的主

存储器辅助存储器。它的功能比通信控制器、终端控制器等的功能要强得多。当这种处理机取代一般的通信控制器用于前端的通信控制,则被称为前端处理机;当这种处理机取代一般的终端控制器或群集器,则被称为终端处理机。

功能 通信控制处理机实现计算机和终端设备与通信子网的连接,保证通信报文正确而有效地发送、传输、接收和处理,其基本功能如下:①线路控制。控制通信线路的通断,线路状态的监视等。②传输控制。传输规程的实现、报文存储和转发、同步控制及数据流控制等。③终端控制。对终端的选择、识别、接通、操作及释放等。④报文控制。报文自动编号、错误报文的诊断和处理、报文分析和编辑等。

组成 通信控制处理机一般由计算机接口部件、中央控制部件及外线接口部件等三部分组成。作前端处理机用的通信控制处理机的结构框图如图所示。其



通信控制处理机 (前端处理机)

中中央控制部件是通信控制处理机的主体,和计算机的接口就是和主机通道的接口,类似于外围设备控制器与通道的接口。外线接口部件包括线路接口及其控制,如字符的组合和分解、电信号转接及电气连接等。作为终端处理机用的通信控制处理机,其组成部件的功能不完全与此相同。

(汪日康)

tongbu jishuqi

同步计数器 (synchronous counter) 能累计或寄存输入脉冲个数且电路中各触发器状态更新是同步进行的一种时序逻辑电路。

工作原理 同步计数器与异步计数器相比,除电路结构形式不同外,原理、功能、分类等基本相同。图1

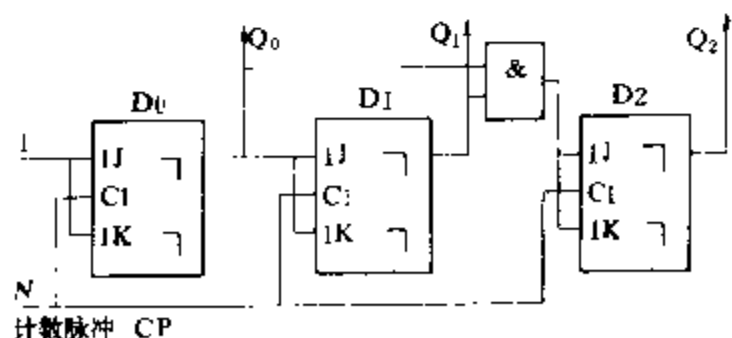


图1 同步加法计数器电路

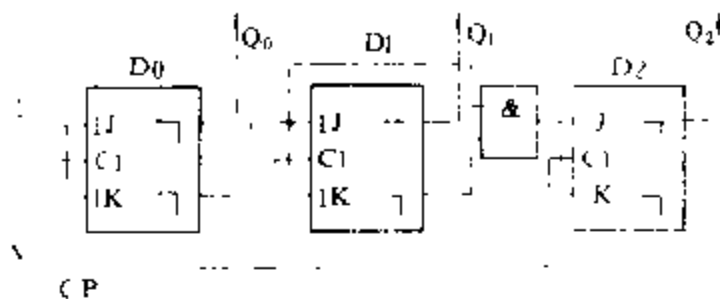


图2 同步减法计数器电路

为由三个JK触发器组成的 $M=2^3$ 的三位二进制加法计数器。计数脉冲N同时加到各触发器时钟CP端,触发器状态更新同时进行。图2为同步三位二进制减法计数器,与图1不同之处是各触发器从 \bar{Q} 端引到下一位的JK端。减法计数器状态图如图3所示。

图3 减法计数器状态图

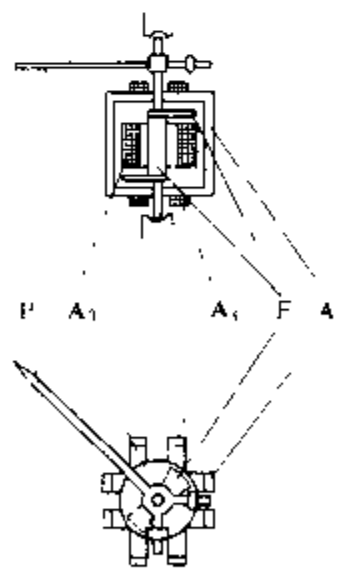
同步计数器特点 ①各触发器状态更新同时进行;②触发器状态由前级的现态决定后级的次态;③比异步计数器电路结构复杂,需要门电路配合,但计数工作速度较异步快;④电路进位方式有串行和并行两种形式,并行进位方式可进一步提高计数工作速度。

(唐泽荷)

tongbu zhishiqi

同步指示器 (synchroscope) 指示待并入电网的发电机其电压的频率和相位是否与电网相应电压的频率和相位相同的仪器,又称同步表、整步表。同步指示器的标度盘上只标明同相位点和指针转动方向与待并发电机比电网“快”和“慢”的关系。

电磁系同步指示器的结构如图所示。接入静圈 A_1 、 A_3 的电流 \dot{I}_1 、 \dot{I}_3 是由待并发电机的三相电压经电阻两路得来的。 \dot{I}_1 和 \dot{I}_3 的相位相差 90° ,而 A_1 和 A_3 的空间位置又互相垂直,因此产生旋转磁场。静圈 A_0 的电流 \dot{I}_0 是由电网电压经电阻得到的,产生脉动磁场。固定在转轴上的Z形铁片F力图占据上述两个磁场合或能量为最大的位置,即 \dot{I}_0 产生的磁场为最大瞬间旋转磁场所处的位置。



电磁系同步指示器结构

待并发电机尚未与电网同频率时,Z形铁片带动指针P不停地旋转。待并发电机的频率低于电网频率时,指针向“慢”的方向旋转;

高于电网频率时,指针向“快”的方向旋转。当指针不动时表示待并发电机与电网频率完全相同。当指针不动,且指在“快”、“慢”的分界线即同相位点上,则表示待并发电机与电网同步;此时若待并发电机的电压与电网电压相同,即可闭合开关,将待并发电机接入电网。

同步指示器还有电动系、感应系、静电系、变换器式、电子式和指示灯式等多种类型。

(郑英华)

tong

铜 (copper) 金属元素,化学符号Cu,原子序数29。纯铜呈紫红色光泽,导电性能优良,在金属导体中仅略次于银。在20℃,铜的密度为8.89 g/cm³,电阻率为 $1.64 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$,与银的电阻率 $1.58 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 十分接近。但自然界中铜的蕴藏量远大于银,价格远低于银,而且加工性能、焊接性能优良,耐腐蚀性好,无磁性,所以是电工中应用最广泛的一种导电材料。铜的导电性对杂质十分敏感。因此,电工中对铜的纯度要求十分严格。用于制造电线电缆,电机绕组等一般导电零部件时,要求铜的纯度高于99.90%,含氧量低于0.06%。在精密场合,如制造电子仪表,电真空零件等,更应选用高纯铜,其纯度应高于99.95%,含氧量应低于0.003%,含铁量应低于0.0002%。在一般大气条件下铜不易腐蚀,表面生或的铜绿是和大气中硫化物作用的生或物,能起到一定的保护作用。使用中应避免强烈的酸性环境,否则将导致严重的腐蚀。

根据使用要求还可制成各种铜合金,其导电性虽有所降低,但获得了其他所需的特性。常用的铜合金有:用于制造弹性簧片和接插件的磷青铜,含有磷和锡等杂质;锰铜、康铜等是电阻材料;硬度较高的黄铜是铜锌合金,主要用于制造机械零件,或兼作导电零件。

铜和其他金属组或的复合材料可兼有二者的优点,如铜包铝,镍包铜及用于高频的镀银铜线等。

(黄嘉豫)

tujiegou

图结构 (graph) 由有限非空顶点集合 V 和边集合 E 组或的一种数据结构。记作 $G=(V, E)$ 。顶点具有数据元素,边表示任意两个顶点 x 和 y 之间的关系,记作 $\langle x, y \rangle$ 。若图 G 中 $\langle x, y \rangle$ 与 $\langle y, x \rangle$ 不等价,则称 G 为有向图;若 $\langle x, y \rangle$ 与 $\langle y, x \rangle$ 等价,则称 G 为无向图,并以无序对 (x, y) 代替两个有序对 $\langle x, y \rangle$ 和 $\langle y, x \rangle$ 。图中每条边可以有一个称为权的数与之相连,权可以表示两个顶点之间的距离或从一个顶点到另一个顶点的代价,这种带权的图

通常称为网。

图 $G=(V, E)$ 中,从顶点 x 到顶点 y 的路径为一顶点序列 $\langle x=v_0, v_1, \dots, v_m=y \rangle$,其中 $v_i \in V, \langle v_{i,j-1}, v_{i,j} \rangle \in E (1 \leq j \leq m)$ 。路径上的顶点都不相同的路径称为简单路径。第一个顶点与最后一个顶点相同的路径称为回路或环。除了第一个顶点与最后一个顶点外,其余顶点都不重复的回路,称为简单回路。若从顶点 x 到顶点 y 至少存在一条路径,则称 x 和 y 是连通的。若图中任意两个顶点都是连通的,则称为连通图。

在计算机中,通常采用以下几种存储结构来表示图结构。

(1)数组法。用一个一维数组存储各顶点的数据信息,用一个二维数组表示的邻接矩阵表示边的集合。其中邻接矩阵 A 是一个 n 阶方阵(n 为图中顶点的个数)。当边上无权及其它相关信息时, A 的定义为

$$A[i, j] = \begin{cases} 1 & \text{若} \langle v_i, v_j \rangle \in E \\ 0 & \text{反之} \end{cases}$$

若为网时,则邻接矩阵可定义为

$$A[i, j] = \begin{cases} W_{ij} & \text{若} \langle v_i, v_j \rangle \in E \\ \infty & \text{反之} \end{cases}$$

其中 W_{ij} 为边 $\langle v_i, v_j \rangle$ 上的权, ∞ 表示计算机中可表示的数的最大值。

(2)邻接表法。对图中每个顶点建立一个单链表。在顶点 v_i 对应的单链表中各结点表示以 v_i 为初始点的一条边,再用一个数组存储各顶点的数据信息和指向其对应的单链表的指针。

除以上两种常用表示法外,还有二进制向量表示法和邻接多重表等表示方法。

图的基本操作有查找、插入和删除,以及求两个顶点间的路径及路径长度、图的遍历和求连接于某一顶点的边数等。

(吴美朝)

tuxing shuru shuchu shebei

图形输入输出设备 (graphics input/output device)

用来向计算机发送或从计算机接收图形信息的设备。常用的图形输入设备有:数字化板、操纵杆、鼠标器、光笔、控制盘、功能开关或按键等。新近出现的图形输入设备还包括:飞行鼠标、数据手套、空间球等。常用的输出设备有:绘图仪、彩色或单色击打式打印机、喷墨打印机、激光印字机、静电印刷机、热敏印刷机、照相底片记录仪等。在生或、修改或拷贝图形时都要用到图形输入设备或图形输出设备,它是计算机图形学的重要组成部分。

图形输入设备 按其逻辑功能又可分定标器、定

值器、检取器、按钮、键盘五种：①定标器：提供二维或三维坐标信息的设备，如图形输入板、鼠标器、操纵杆、三维声波绘图板、飞行鼠标、数据手套、空间球等。②定值器：提供单个数值的设备，如控制盘等。③检取器：用来识别或挑选所显示图形中感兴趣的对象或子图形的设备，如光笔等。④按钮：用来选择或激活一个事件或过程的设备，由一组称为功能开关的专门按键来实现。图形输入板和鼠标器上一般都带有几个功能按键，这些按键的实际功能由交互式图形软件来确定。⑤键盘：一群按一定格式安排的按钮。在图形系统中键盘可看作为一个通用的输入设备，因为它可以执行定标、定值、检取和按钮这几种逻辑功能。在处理文字、数字信息时都要用到，是必配设备之一。

图形输出设备 根据图形输出的特点，与图形显示器分类相似，也可将图形输出设备分为随机扫描式和顺序扫描式二类：①随机扫描式：绘图笔或打印头是

随机运动，如笔式绘图仪、平板式绘图仪、混合式绘图仪等。②顺序扫描式：绘图笔或打印头在作水平方向扫描的同时也作垂直方向扫描运动。如各种击打式打印机和非击打式打印机：点阵打印机、电子照相印刷机、静电式印刷机、传热印刷机、喷墨式印刷机。

显示或打印的分辨率、色彩数等是图形输出设备的重要指标，而且大部分图形输出设备都具有图形硬拷贝的能力。

随着电子工业的飞速发展，图形输入输出设备也朝着高速度、高质量方向发展。新近的图形输入设备，象空间球等能提供六个自由度的选择，成为交互图形操作的重要手段。又如图文扫描仪，可高速地输入有灰度或颜色的图文信息，已成为图文自动输入的重要工具。

(石教英 黄剑锋)



wate

瓦特 (watt) 国际单位制 (SI) 中功率的单位。瓦特简称瓦, 符号是 W。若以 1 J/s 的均匀速率做功, 则此时的功率定义为 1 W。

(肖达川)

wate xiaoshi

瓦特小时 (watt hour) 能量的单位, 简称瓦小时。瓦小时的符号是 W·h。以 1 W 的均匀速率在 1 h 内所作的功, 定义为 1 W·h。

中国规定瓦小时是暂时与国际单位制并用的单位, 即以功率单位与时间单位之乘积作为能量的单位。在国际单位制 (SI) 中, 能量的单位是焦耳, 简称焦, 符号是 J。1 J=1 W·s。1 h=3600 s。若时间以小时为单位, 则 1 W·h=3600 J。通常所谓 1 度电即 1000 W·h。

(孙树勤)

waiwei shebei

外围设备 (peripheral equipment) 计算机系统中, 除处理机 (运算器、控制器和内存存储器等) 以外的设备。它主要完成信息的输入、输出和成批存储的任务, 是计算机和外界 (包括人) 实现联系的设备。

外围设备根据其在计算机系统中的作用, 可分输入输出设备、辅助存储器、终端设备和脱机设备四类:

输入输出设备 输入设备是把程序、原始信息以及操作命令送入处理机内进行处理的设备; 输出设备则是将处理机处理信息的中间结果和最终结果, 以人们可以识别的数字、字符、图形等形式表达出来的设备。输入输出设备包括打印机、绘图机、显示器、穿孔输入机、光学识别设备、图形输入设备和汉字输入设备等。

辅助存储器 又称外存储器, 是相对处理机内的主存储器而言的。它不直接与中央处理器交换信息, 而

是在处理机控制下, 通过外部控制部件把所需的信息和程序随时成批地送到主存储器, 并可把运算中的结果存储起来。外存储器主要有磁盘 (软盘和硬盘)、磁带和光盘等。

终端设备 通过通信线路和处理机相连的通用或专用设备。

脱机设备 系指不经处理机控制, 能在脱机状态下完成数据制备、媒体转换的设备。诸如老式的卡片机、纸带穿孔机、校对机以及目前大量使用的软盘数据采集设备等。

外围设备是一种多学科的综合性强且制造难度大的高技术产品。随着科学技术的发展, 它在计算机系统所占的比重将越来越大。从一定意义上讲, 外围设备已成为影响计算机系统性能/价格比、系统可靠性以及计算机推广应用的关键。

(徐立亮)

wanyongbiao

万用表 (multimeter; AVOmeter) 测量交直流电压、电流及电参数, 如电阻、电容、电感等的多功能多量程电表, 又称多用表、繁用表。万用表主要由测量机构、测量线路和转换开关三部分组成。测量机构用以指示被测量的数值; 测量线路用以把各种被测之量转换到适合于测量机构的微小直流电流值; 转换开关实现对不同测量线路的选择, 以适应各种测量要求。万用表采用磁电系微安表头作为测量机构。它的满偏电流一般为 40~200 μ A, 最小只有几微安。电表满偏电流越小, 测量机构灵敏度越高, 因此组成电压表时的电表内阻也越高。内阻以欧每伏 (Ω/V) 来表示, 乘以量程值即为总内阻值。此值越大对被测电路的影响就越小。

图 1 是一种典型的万用表原理线路图。利用转换开关可换接成测量直流电流、电压, 交流电压, 直流电阻等电路。

测量直流电阻的原理线路如图 2 所示。图中电源 U 为干电池, R_0 是微安表内阻, R 是可调电阻, R_x 是被测电阻。以 I_x 表示通过微安表的电流, 则 $I_x=U/(R_0+R_x+R)$ 。由此式可以看出: ①被测电阻 R_x 变化时 I_x 会有变化, 从而微安表指示也有变化。可将微安表的标尺预先按电阻刻度, 即可直接读出电阻值。②被测电阻 R_x 越大, I_x 就越小。 $R_x=0$ 时, I_x 最大。所以欧姆标度尺为反向刻度, 即零阻值标在满偏处, 且由于 I_x 与 R_x 不成比例, 故刻度不均匀。③使用前, 先要“调零”, 即当 $R_x=0$ 时, 调 R , 使指针为满偏, 保证每一次测量时, $I_0=U/(R+R_0)$ 不变, 从而正确显示“零欧姆”。

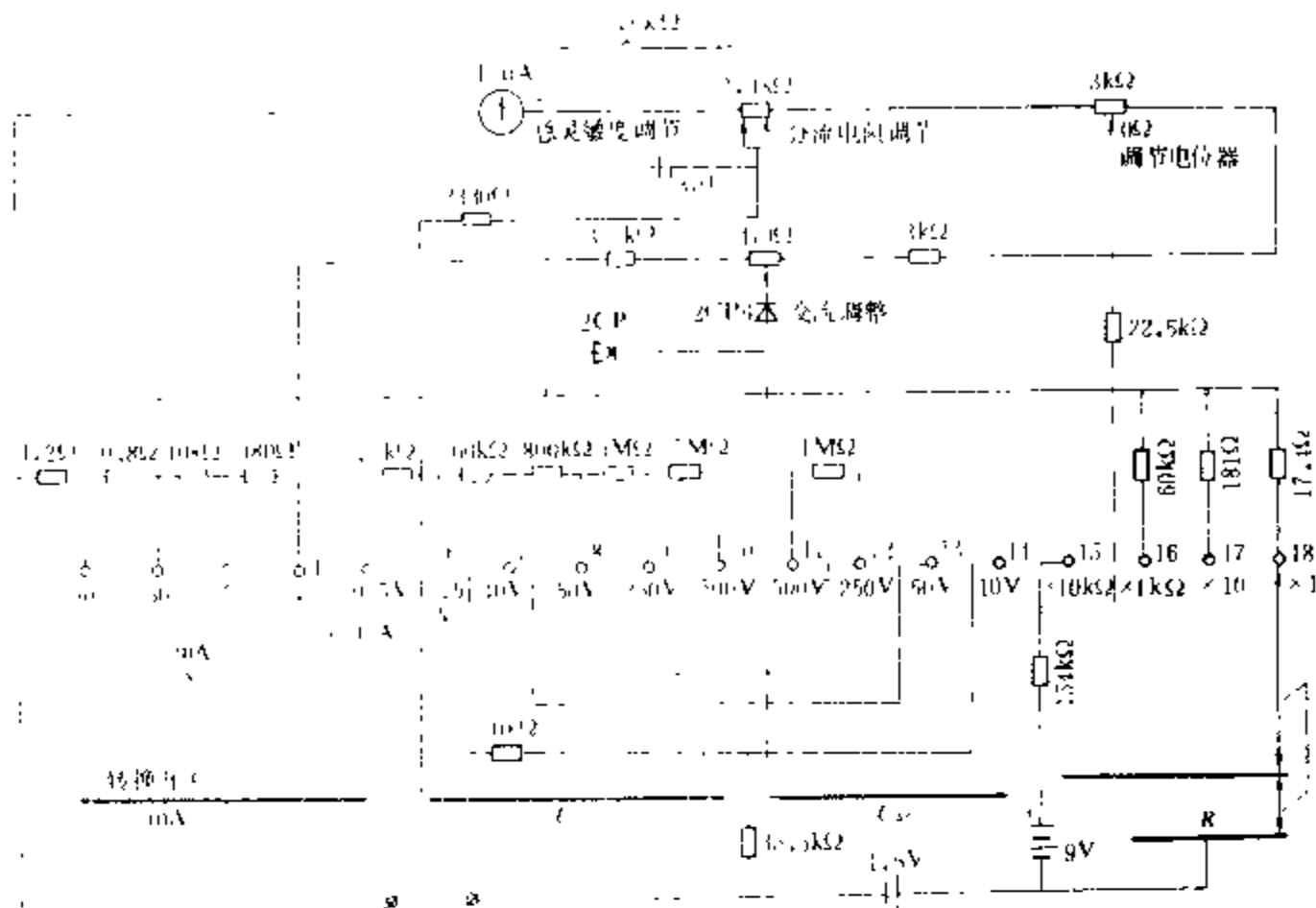


图1 万用表原理线路

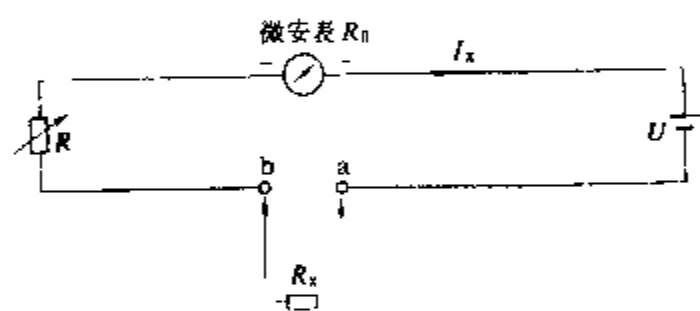


图2 电阻测量原理线路

(顾惠芬)

wanyong jiaoliu dianqiao

万用交流电桥 (universal AC bridge)

见交流电桥。

wangluoliu

网络流 (flows in networks)

见网络图论。

wangluo ruanjian

网络软件 (network software)

配置在计

算机网络中,用于支持网络通信、资源共享和网络管理的软件(见计算机软件)。

组成 网络软件有网络协议软件、网络通信软件和网络管理软件。

网络协议软件 实现网络各层协议的程序的集合。根据国际标准化组织(ISO)所建议的开放系统互

连参考模型(OSI/RM),除物理层外网络协议软件可由数据链路层、网络层、运输层、会话层、表示层和应用层六个层次的网络协议软件组成。其中:会话层及会话层以下的协议软件都是面向通信的,用于实现不同开放系统中对等实体之间的通信,表示层协议软件是面向信息的表示和转换的,面应用层协议软件则用于向应用实体提供多种公用的和专用的服务。

每层协议软件通常是由若干个进程(如发送进程、接收进程和接口进程)和相应的协议

元素队列(如发送队列、接收队列)所组成。其主要任务是实现本层协议所规定的功能以及上、下层的接口功能。

网络通信软件 实现开放系统与本地或远程终端成附属计算机通信的软件。网络通信软件通常由三部分组成:①线路缓冲区管理程序。管理线路缓冲区的分配和释放。②线路控制程序。按照线路传输控制规程,控制信息的发送和接收。由于一台主机所连接的各种通信线路可能采用不同的规程,因而需相应地配置多种传输控制规程的软件。③报文管理程序。用于形成报文、管理报文的发送和接收。

为方便主机用户与远程终端或远程计算机通信,在主机中还应提供远程通信的存取方法。常用的存取方法有:①基本远程通信存取方法(BTAM),即利用各种命令(如READ、WRITE等)来实现用户程序与远程终端之间通信的存取方法;②排队远程通信存取方法(QTAM),即以报文队列形式实现用户程序与远程终端之间通信的存取方法;③远程通信存取方法(TCAM),即根据控制块和报文标题中所包含的信息,来控制用户程序与远程终端之间通信的存取方法;④虚拟远程通信存取方法(VTAM),即采用VTAM和网络控制器内的网络控制程序NCP两级方式来实现用户程序与远程终端之间通信的存取方法。

网络管理软件 用于有效地管理和监视网络运行情况的软件。它包括网络管理、维护和诊断等程序。该软件的主要功能是:①构造和定义网络,定义结点和线

路的各种参数,为网络的实体命名,把系统软件装入结点等;②显示网络实体状态,显示终端或线路的状态,显示应用程序的情况等;③激活和抑制系统中的各种实体和远程网络控制等程序,并起停应用程序,测试跟踪程序等;④诊断、测试网络系统故障,转储文件,重构网络等。

网络控制方式 有顾客/服务器方式及对等方式。

顾客/服务器方式 利用微机来取代多用户机的终端,使原来由多用户机完成的许多终端型作业,改由各微机自行完成。多用户机则从主要处理终端型作业,转向为各个联机微机(称为顾客工作站)提供更高层次的服务,而或为服务器。随着微机性能的提高,亦可由高档微机担当服务器。顾客/服务器方式在逻辑上属于星形结构,服务器是网络的中心,其物理结构既可是星形结构,亦可是公共总线结构。

顾客/服务器方式的优点是:①对大多数用户任务可实现分布或处理;②把通常对终端型作业的处理与对共享资源和用户通信的管理分开,有效地提高了服务器和工作站的效率;③网络实现简单,仅服务器担负解决一系列复杂的技术问题的任务,工作站仍可应用简单的微机。这种方式的缺点是:①可靠性低。服务器故障将导致整个网络瘫痪。②易出现瓶颈现象。当频繁访问服务器时,使响应时间增长。③可扩充性差。它受到服务器的硬件结构和软件能力的限制。尽管如此,20世纪80年代推出的局域网,大多数仍采用顾客/服务器方式,如3COM Ethernet, 3+网, Novell网等。

对等方式 为了克服上述缺点,可将网络控制分散到各开放系统上而形成对等控制方式。网络上的每个开放系统既可作为顾客与其它系统进行通信、访问该系统的共享资源,又起着服务器的作用,管理本站的共享资源,将它们提供给网络上其他顾客共享。对等方式的优点是:①平等性。网络中所有系统皆处于平等地位,无主次之分。②可靠性。系统中无中央控制机构,因此,任一系统的失败,都不会给整个系统带来严重影响。③易扩充性。网络的扩充所受到的限制较少,且不易出现瓶颈现象。其缺点是实现复杂,对等方式属于分布式控制方式,系统中必须引入分布式通信、分布式同步控制等技术。

发展方向 网络软件随着计算机技术的发展和网络应用的普及,不断地向纵深发展。其主要发展方向有:分布式处理,综合业务数字网,协议的描述、验证与测试等。

分布式处理 具有硬件资源分散、数据资源分散、网络控制分散和任务并行处理四个特征的处理技术。为实现分布式处理,网络中必须配置分布式操作系统和分布式程序设计语言及其编译程序。分布式处理可

按应用领域划分为:分布式数据处理,分布式控制,分布式计算以及其它如分布式人工智能等。

综合业务数字网 (ISDN) 这是一种可方便地传送各种不同电信业务(如电话、用户电报、智能用户电报、图象传真等)信息的数字网络。ISDN的基础是一个电话综合数字网,它为用户提供少数几个标准的、多用途的用户网络接口,使同一用户/网络接口适应于不同业务的终端,以获得最大的灵活性。ISDN是计算机网络的发展目标,无论是哪种计算机网络,最终都将纳入到ISDN中。

协议的描述、验证与测试 协议的描述是指利用形式描述技术,将协议的概念模型变为精确的规格说明;协议的验证是对协议的行为是否满足要求的证明;网络软件标准化测试是为了确定被测对象与协议标准一致的程度,或称为一致性测试。

(汤子瀛)

wangluo tulun

网络图论 (network graph theory) 应用图论研究网络的几何结构及其基本性质的理论,又称网络拓扑(network topology)。图论是离散数学的一个分支,它的研究对象是从实际问题中抽象出来的,用节点(顶点)和支路(边)构成的线图(graph),简称为图。例如图1(a)中的电网络,其几何结构可表示或相应的线图,如图1(b)。在线图中忽略了电路元件的性质,边的长短与弯曲度都不重要,突出的是节点和支路之间的连接关系。图2是一公路交通网络的线图,含有8个节点(城市)和13条支路(公路)。边上注的字(加权)表示公路长度。用线图表示的这种连接关系以及由此产生的全部几何性质又统称为拓扑性质,故网络图论又称为网络拓扑。

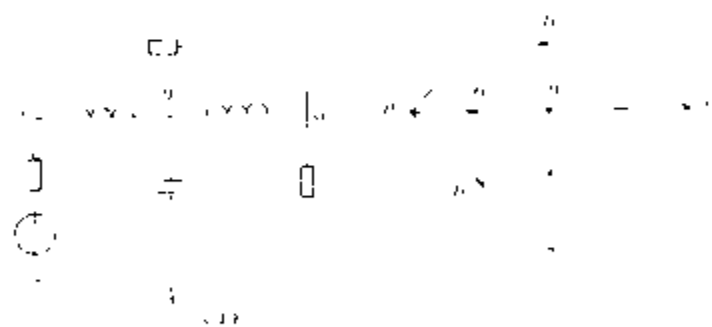


图1 电网络及其线图

(a) 电网络; (b) 线图

图论起源于1736年数学家L. 欧拉(L. Euler)求解哥尼斯堡七桥难题。1847年G.R. 基尔霍夫(G.R. Kirchhoff)首次用“树”的概念列出电路方程,并为电网络的拓扑分析奠定基础。20世纪中叶以后图论应用日益扩大,涉及网络分析与综合、计算机辅助设计、电路布图、信号源图、电力系统、建筑施工以及最

短路径与最大源等方面。随着计算机应用的普及,图的算法设计成为引人入胜的课题。设计有效算法是推广图论应用的关键。衡量算法有效性的主要尺度是运算时间,把运算时间表述成线图规模(如图的节点数)的函数称为计算复杂性。

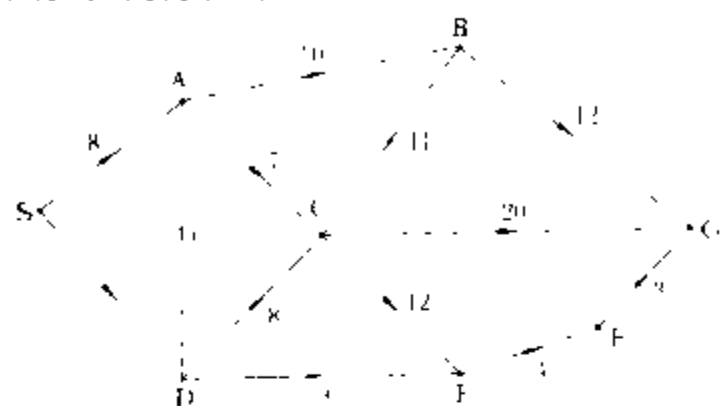


图2 公路交通网络的线图

基本概念

线图 节点和支路的集合。支路两端是节点,用图 G 表示,见图 3(a)。节点间相互连通的图称为连通图,支路上标定方向的图称为有向图,否则称为无向图。

子图 由图 G 中部分节点和支路构成的图称为 G 的子图,见图 3(b)。

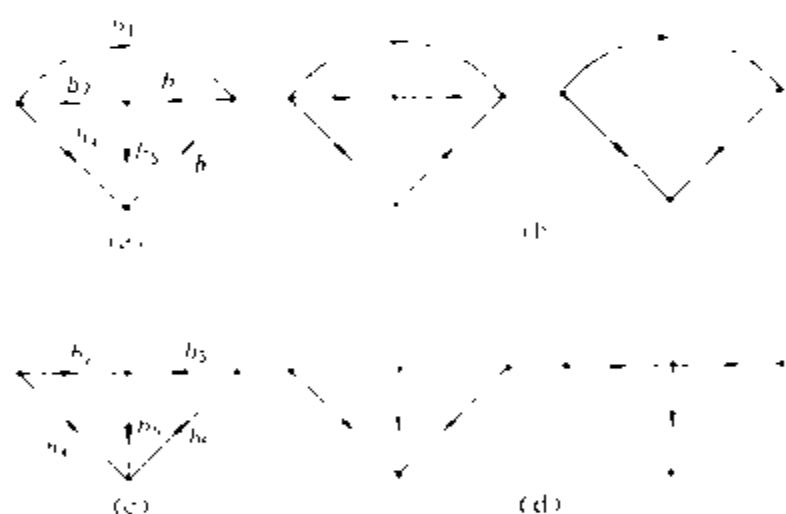


图3 线图 G

(a) 连通图 G ; (b) 图 G 的子图; (c) 图 G 的回路;
(d) 图 G 的树

回路 图中形成闭合路径的支路集合叫作回路。如图 3(c)中的 $b_2b_4b_5$ 和 $b_3b_5b_6$ 。

树 图 G 的一个连通子图,包含 G 的全部节点但不含任何回路,称为 G 的树,如图 3(d)所示均为 G 的树。选定一个树后,属于树的支路称为树支,其它支路称为连支。在 n 个节点, b 条支路的连通图 G 中,树支数为 $n-1$,连支数为 $b-n+1$ 。

割集 连通图 G 的一个支路集合,移去这些支路,将使图分为两个不相连部分(孤立节点也算作一部分),若保留割集中的任一支路,则图仍是连通的。图 4(a)、(b)、(c)中虚线所示为图 G 的三个割集。

基本回路 选定连通图 G 的任一树,每加上一个连支,便形成包含该连支,其余均为树支的回路,选定回路方向与所含连支方向一致,这个单连支回路叫做基本回路。在图 1(b)中选定 b_4 、 b_5 、 b_6 为树(图 5 中用实线表示),则三个基本回路 c_1 、 c_2 、 c_3 如图 5(a)、(b)、(c)所示。

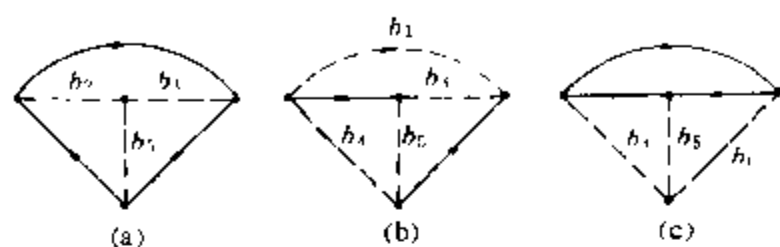


图4 线图 G 的三个割集

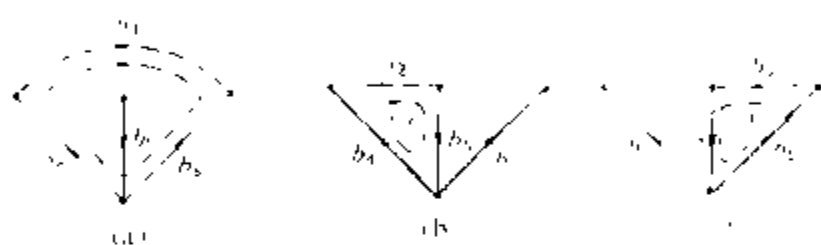


图5 对应树 b_4 、 b_5 、 b_6 的三个基本回路

基本割集 任选一树,每一树支和某几个连支可组成一个割集,选定割集方向与所含树支方向一致,这个单树支割集叫做基本割集。在图 1(b)中,选定 b_4 、 b_5 、 b_6 为树,其三个基本割集 k_1 、 k_2 、 k_3 如图 6(a)、(b)、(c)所示。

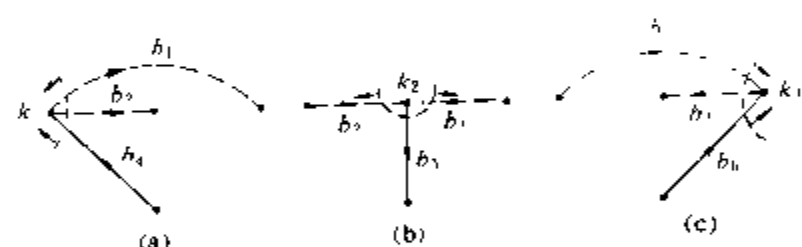


图6 对应树 b_4 、 b_5 、 b_6 的三个基本割集

在网络分析中,选用不同的独立变量形成不同的分析方法。常用的节点法,回路法和割集法就是分别选用节点电压、回路电流(连支电流)和割集电压(树支电压)为独立变量的。它们的未知量数分别是 $n-1$, $b-n+1$, $n-1$ 个。利用树的概念可以方便地确定电路中的独立变量,系统化地列出独立的电路方程。这是图论用于网络分析的突出优点。

线图的矩阵表示 线图中节点与支路的关系、回路和割集与支路的关系以及其他拓扑性质可通过矩阵来描述。图论中经常用到的三个矩阵是:①关联矩阵;②基本回路矩阵;③基本割集矩阵。

关联矩阵 A 描述有向图节点(参考点除外)与支路关系的矩阵,即

$$A = [a_{ij}]_{(n-1) \times b}$$

其中

$$a_{ij} = \begin{cases} 1(\text{或}-1) & \text{支路 } b_j \text{ 和节点 } n_i \text{ 关联,} \\ & \text{且离开 (或指向) } n_i \\ 0 & \text{支路 } b_j \text{ 和节点 } n_i \text{ 不关联} \end{cases}$$

例如, 图 1(b) 的关联矩阵 A (以 n_4 为参考点) 如下

$$A = \begin{matrix} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \\ \begin{matrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

基本回路矩阵 B_l 描述基本回路与支路关系的矩阵。当选定一树, 其基本回路数为 $c = b - n + 1$, 则

$$B_l = [b_{lj}]_{c \times b}$$

其中

$$b_{lj} = \begin{cases} 1(\text{或}-1) & \text{支路 } b_j \text{ 在基本回路 } c_l \text{ 中,} \\ & \text{且与 } c_l \text{ 方向一致 (或相反)} \\ 0 & \text{支路 } b_j \text{ 不在 } c_l \text{ 中} \end{cases}$$

例如, 在图 1(b) 中, 支路排列按先连支后树支, 对应树 b_4, b_5, b_6 的基本回路矩阵 B_l 为 (见图 5)

$$B_l = \begin{matrix} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

基本割集矩阵 Q_t 描述基本割集与支路关系的矩阵。当选定一树, 基本割集数为 $n - 1$ 。

$$Q_t = [q_{tj}]_{(n-1) \times b}$$

其中

$$q_{tj} = \begin{cases} 1(\text{或}-1) & \text{支路 } b_j \text{ 在基本割集 } q_t \text{ 中,} \\ & \text{与 } q_t \text{ 同方向 (或反向)} \\ 0 & \text{支路 } b_j \text{ 不在基本割集 } q_t \text{ 中} \end{cases}$$

例如, 在图 1(b) 中, 支路排列按先连支后树支, 对应树 b_4, b_5, b_6 的基本割集矩阵 Q_t 为 (见图 6)

$$Q_t = \begin{matrix} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \\ \begin{matrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

在同一个图中, 当支路编号相同, 且支路排列按先连支后树支, 则利用矩阵运算方法, 可证明 A, Q_t, B_l 三矩阵间存在下列关系。将矩阵写成分块形式, 即

$$A = [A_{11}, A_{12}], \quad B_l = [U_1, B_{l2}],$$

$$Q_t = [Q_{t1}, U_2]$$

其中 $l = b - n + 1, t = n - 1$, 则有

$$AB_l^T = 0$$

$$B_l Q_t^T = 0$$

$$Q_{t1} = -B_{l2}^T = A_{12}^T A_{11}$$

$$Q_t = A_{12}^T A$$

上式表明已知 A 矩阵后, 即可求得 B_l 和 Q_t 。

描述线图的矩阵尚有许多。如在开关网络里用到的路径矩阵, 通信网络里用到的邻接矩阵、关系矩阵等。

电网络方程 用上述矩阵可系统地表达电路的基本定律和列写网络方程, 并适于计算机辅助分析。

以列写节点电压方程为例。若把电路中的各支路电流、支路电压和节点电压分别记为 $i_b, \dot{U}_b, \dot{U}_n$ 相量, 则可写出以矩阵形式表示的基尔霍夫电流定律 (KCL) 和电压定律 (KVL):

$$A \dot{I}_b = 0 \quad (\text{KCL}), \quad \dot{U}_b = A^T \dot{U}_n \quad (\text{KVL})$$

为了方便分析, 设每一支路是由导纳、电流源、电

压源组合而成的复合支路 (见图 7), 则可写出

矩阵形式的支路约束方程

$$\dot{I}_b = Y_b \dot{U}_b - \dot{I}_s + Y_b \dot{U}_s$$

式中 Y_b 称为支路导纳

矩阵; \dot{I}_s 和 \dot{U}_s 分别为

支路的电流源相量和电压源相量。综合以上各式, 可推导出以矩阵形式表示的节点电压方程

$$(A Y_b A^T) \dot{U}_n = A \dot{I}_s - A Y_b \dot{U}_s$$

式中 $Y_n \triangleq A Y_b A^T$, 称为节点导纳矩阵; $A \dot{I}_s - A Y_b \dot{U}_s$ 为注入各节点的等效电流源相量。 \dot{U}_n 解得后, 可进一步求各支路电压和支路电流。

其他以矩阵形式表示的回路法、割集法, 推导亦大同小异。

网络拓扑分析 从网络的线图和元件参数可直接求各种常见的网络函数, 如单口网络的策动点函数和双口网络的转移函数。

1847 年 G. R. 基尔霍夫首先提出一套建立在回路方程基础上的网络拓扑公式。此后, J. C. 麦克斯韦 (J. C. Maxwell) 发展了另一套建立在节点方程基础上的拓扑公式。通常网络函数可通过其节点导纳矩阵行列式 $\Delta = \det Y_n$ 和它的代数余子式来表示。上述拓扑公式表明, 对于 $\det Y_n$ 和其代数余子式的计算可转化为直接求网络对应线图 G 中全部树的树支导纳乘积之和与相应的二树的树支导纳乘积之和, 即

$$\Delta = \det Y_n = \text{全部的树支导纳乘积之和}$$

$$\Delta_{ij} = \text{对应的全部二树的树支导纳乘积之和}$$

其中, Δ_{ij} 为 $\Delta = \det Y_n$ 中元素 (i, j) 的余子式, 所谓二树是指从 G 的一个树 T 中 (含 $n-1$ 个树支), 去掉任一树支而得到的 G 的一个子图。二树包含 G 的全部节点, 仅有 $n-2$ 条支路, 由两个分离的子图组成, 每个子图都不含回路。以上用枚举树以求得网络函数的方法也称为 “ k 树法”。并已推广到含有互感和受控源

的有源网络。

信号流图法是在1953年由S.J.梅森(S.J.Mason)提出的分析线性系统的拓扑方法。流图分析包括两个步骤:先以加权有向图模拟一个线性系统,再用图论方法求对应的路径、回路数,然后进行运算求得增益。这种方法不仅有效地用来分析反馈控制系统,还可用于热传导分析和机械结构分析等。

拓扑分析法的主要优点是计算较为简便,不象解析法那样要展开高阶行列式,可免除或减少对消冗余项,提高计算精度,且用线图模拟系统,形象直观,物理概念明确;但拓扑法的主要缺点是效率低。随着网络规模加大,求树和回路的计算量将急剧增加,因之一般局限于分析小型网络。

网络图论还涉及许多非电网络问题。例如在图2公路交通网络图中,求S到G的最短路径。更有实用意义的是求所有节点间的最短路径,例如在排定运输调度计划,选择商店、邮局或急救站场址时会用到。这些算法可以方便地编制程序上机运算。

早在1962年L.R.福特(L.R.Ford)与D.R.富尔克森(D.R.Fulkson)就发表了第一本研究网络流的专著。在网络流问题中最有代表性的是求最大流问题,即在给定的运输网络设备条件约束下,可能传输的最大流量。在两网流计算中,有个著名的最大流最小切割定理:在运输两网中,最大流的值等于最小切割的容量。利用这个定理,可方便地求出网络的最大流。1962年L.R.福特与D.R.富尔克森提出的标号算法是计算运输两网中最大流的有效算法。两网流算法在电力系统网络规划、安全分析与状态估计中均得到应用。

网络图论在理论、算法和应用上都存在不少有待解决的问题。特别至今还有许多问题尚未找到有效算法,仍值得进一步研究探讨。

参考书目

陈树柏主编,网络图论及其应用,北京:科学出版社,1982

(左 屹)

wangzhuang shujuku

网状数据库 (network database) 采用网状原理和方法,以网状数据模型为基础建立的数据库。一般是指由网状数据库管理系统产生的网状数据库系统。网状数据模型是以记录类型为结点的网络结构,即一个结点可以有一个或多个下级结点,也可以有一个或多个上级结点,两个结点之间甚至可以有多种联系,例如“教师”与“课程”两个记录类型,可以有“任课”和“辅导”两种联系。两个记录类型之间的值可以

多对多的联系,例如一门课程被多个学生修读,一个学生选修多门课程。

目前网状数据库管理系统大都以数据系统语言协商会(CODASYL)数据库任务组(DBTG)的报告为蓝本进行设计,对数据库的描述采用化整为零的办法,先描述各个记录类型,再把记录类型之间的联系分别描述成两两记录的联系,称之为系(set),并加以命名。由于系的概念在(DBTG)的报告中严格定义成记录值之间一对多的联系,前者叫首记录,后者叫属记录,即一个首记录值对应多个属记录值,因此必须把模型中多对多的联系通过添加适当的结点改造成一对多的联系。

(毛根生)

weibo dianziguan

微波电子管 (microwave tube) 工作于微波波段的真空电子器件。电磁波谱中的微波波段通常指300 MHz到3000 GHz,对应于波长在1 m~0.1 mm之间的电磁波。微波电子管是随着微波波段的发展利用而发展起来的,在第二次世界大战期间微波雷达出现后迅速得到应用。20世纪50年代以来,微波波段在微波中继通信、卫星通信、地面电视广播、卫星电视广播、导航、工业和民用加热等方面得到广泛应用。

微波电子管包括三类原理上不同的器件,即静电控制微波电子管(微波三极管与四极管)、普通微波管和新原理器件。

(1) 静电控制微波电子管。它是在静电控制电子管的基础上发展起来的。进入微波波段后,信号周期(约为0.001~1 ns)已变成可以同电子渡越电极的时间相比拟,甚至更小。为使普通静电控制电子管工作于微波波段必须减小渡越时间。采用的方法有:减小极间距离并采用平面结构(现代微波管的极间距离最小可达0.025 mm);电极之间加比较高的电位;改变电极结构等。

(2) 普通微波管。尽管采取了上述措施,当微波三极管、四极管在更高频率下工作时,仍存在严重问题,如阴极发射电子密度不足,栅极电子负载增加以及效率降低等。为了进一步提高工作频率,自20世纪30年代开始,人们从克服电子渡越时间效应转向设法利用电子渡越时间效应形成电子注密度调制,从而研制了多种实用的普通微波管。这种普通微波管利用电子在相当长的渡越时间内形成电子注密度调制,产生和放大微波信号。属于这一类的有:磁控管、正交场放大管及其他正交场器件,直射速调管和反射速调管;行波管和返波管等。

(3) 新原理器件。60~70年代以来出现了一些新

原理的毫米波、亚毫米波真空电子器件,如回旋管、自由电子激光器等。随着半导体技术的发展,低频小功率微波电子管已逐渐被半导体器件所取代。70年代以来日本首先研制出一种静电感应晶体管(SIT)。此种管子工作频率已达几吉赫数量级,是一种很有发展前途的固态微波器件。但大功率、高频率、宽频带微波电子管仍继续得到应用和发展。

(张志清)

weichuliqi

微处理器 (microprocessor) 由一片或几片大规模集成电路组成的中央处理器。其内部有控制器、运算器、寄存器组、数据和地址总线,能完成取指令、执行指令、算术和逻辑运算,以及与外界存储器或输入输出接口交换信息等操作。微处理器是一种通用芯片,配以存储器和外围电路芯片可组成单板机或微型计算机。

微处理器的发展是以其运算字长的增长为主要标志。自1971年美国Intel公司首次推出4位字长的微处理器以来,已经历了8位、16位、32位微处理器四个阶段。随着字长的增加,电路集成度、运算速度和控制功能也不断增加。32位的微处理器芯片,可以在不到 2 cm^2 的芯片上集成近120万个晶体管,主频高达60 MHz。中央处理器采用精简指令集(RISC)技术和流水线技术,有相当容量的指令和数据高速缓冲存储器。芯片内还有存储管理部件,可访问4千兆字节的物理地址和6千万兆字节的虚拟地址。由这类微处理器构成的超级微型机,其处理能力和系统功能日益向小型计算机接近。

微处理器功耗少、体积小、可靠性高、价格低,故被广泛用于仪器仪表、通信设备、民用电器及微型计算机中。

(张展标)

weifenqi

微分器 (differentiator) 把运算放大器连接成能实现输出电压与输入电压对时间的导数成正比的放大器。它广泛用于信号处理系统中,作为脉冲产生和超前控制的单元。

微分器的基本电路如图1所示。设运算放大器、电容 C 和电阻 R 均为理想元件,则运算放大器的反相输入端为“虚地”。按虚断和虚短(见加法器)的概念得电压放大倍数为

$$\frac{U_o}{U_i} = -\frac{R}{\frac{1}{sC}} = -sCR \quad (1)$$

将式(1)写成时域形式为

$$U_o = -CR \frac{dU_i}{dt} \quad (2)$$

式(2)表示输出电压与输入电压对时间的导数成比例,但冠以负号。式(1)可写成

$$\frac{U_o}{U_i} = -j\omega CR \quad (3)$$

式(3)表示当 $\omega CR=1$ 即 $f=\frac{1}{2\pi CR}$ 时, $\left|\frac{U_o}{U_i}\right|=1$,即电压增益 $20\lg\left|\frac{U_o}{U_i}\right|=0\text{ dB}$ 。图1所示电路的幅频特性

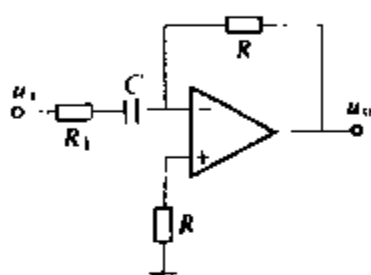


图1 基本微分器电路

波特图(见波特图)如图2所示。由图2可见,当 $f \rightarrow \infty$ 时,电压增益趋于正无穷大;也就是说,对于输入信号中的高频分量有很高的电压增益,即此电路对于高频分量很灵敏。因此,对图1所示电路,如果输入端没有很好屏蔽,则很容易引进高频干扰电压,并得到高倍数的放大,从而导致微分

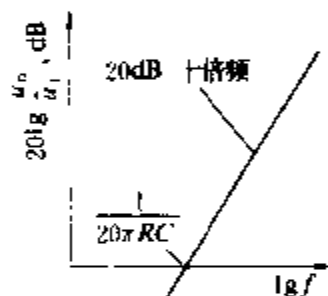


图2 图1电路的幅频特性波特图

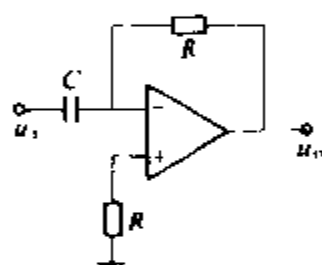


图3 输入端串联低值电阻的微分器电路

器无法正常工作。解决的措施之一是在输入端串联一个低值电阻,如图3中的 R_1 所示。此时电路的电压放大倍数变为 $\frac{U_o}{U_i} = -\frac{sCR}{1+sCR_1}$,

对应的幅频特性波特图如图4中的折线abcd所示。引入电阻 R_1 后高频段的电压增益变为一恒值,从而抑制了高频分量的电压增益。

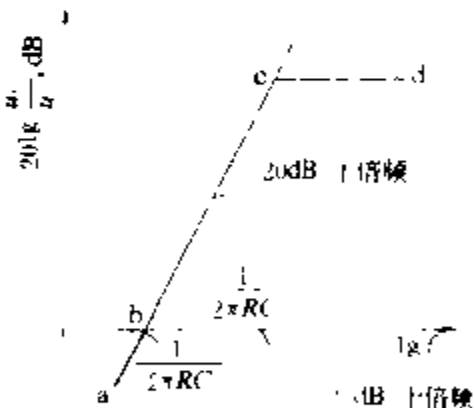


图4 图3电路的幅频特性波特图

(何金茂)

weixing jisuanqi

微型计算机 (microcomputer) 由微处理器为核心,以较通用的总线结构为基础,配以只读和动

态存储器以及多种设备接口部件而构成的计算机系统,简称微机。这类计算机不仅具有开放式的硬件系统,也具有开放式的软件系统,可根据用户的不同需求,选配合适的软硬件模块。由于体积小,功耗低,适应性强,性能价格比高,因而使用十分广泛。

分类 按应用范围可以划分为专用微型机、个人计算机和超级微机三类。

(1) 专用微型机:用于处理特定算法或过程控制。其逻辑结构与软件按不同应用要求而设计。

(2) 个人计算机:用于家庭成较小规模的数据、文字或图形处理的微型计算机系统。其硬件系统由较通行的8位、16位的主机配以硬盘、软盘、驱动器、连接键盘、彩色或单色显示器以及打印机等常规设备构成。个人计算机装有单用户操作系统和各种实用软件,具有较好的可移植性和兼容性。如配以网络适配器和网络操作系统,可以方便地组成局域网络或连网。

(3) 超级微型机:在兼容个人计算机的各种软、硬件资源的前提下,其系统能力可扩展到相当于小型机或超级小型机范围的一种高档微型机。具备全32位的数据总线,在多任务、多用户操作系统的支持下,能完成各种相当复杂的工作任务。较新的超级机型已开始采用精简指令集技术的微处理器。超级微型机目前大多使用的是扩展标准工业结构和微通道结构两大体系。我国生产和引进的多为前一类机器。

发展 自1971年4位微处理器问世以来,微型计算机也获得了迅速发展,8位、16位、32位字长的微型机相继出现,性能价格比不断提高,其中高档超级微型机已达到或超过低档小型机的性能。中国自80年代初发展国产微型机,推出了8位、16位及32位IBM-PC兼容的机型。

进入90年代以来,随着超大规模集成电路生产技术的进一步提高,微型计算机向着更高的处理速度,更大的存储容量,更宽的数据总线 and 多处理器并行处理结构发展。

(张厥标 鲍道胤)

weibo

韦伯 (weber) 国际单位制(SI)中磁通量的单位。韦伯简称韦,符号是Wb。令环链着单匝线圈中的磁通量以均匀速率在1s内下降到零。若该线圈在此时间内的感应电动势是1V,则原来环链着线圈的磁通量定义为1Wb。

(肖达川)

weiyi dianliu

位移电流 (displacement current) 电位

移通量的时间变化率。M. 法拉第 (Michael Faraday) 发现随时间变化的磁场可激发电场的电磁感应定律之后,根据对偶性,提出了随时间变化的电场可以激发磁场的设想。J. C. 麦克斯韦 (James Clerk Maxwell) 认为这一设想是正确的,否则将与电荷守恒定律发生矛盾。J. C. 麦克斯韦据此建立了位移电流的概念,认为它和传导电流一样也可以激发磁场。穿过S面的位移电流 i_D 可表示为S面上的电位移通量 Ψ_D 的时间导数

$$i_D = \frac{\partial \Psi_D}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \int_S \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

式中 \mathbf{D} 为电位移; t 为时间。位移电流密度 \mathbf{J}_D 是

$$\mathbf{J}_D = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \frac{\partial \epsilon_0 \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}$$

式中 \mathbf{E} 为电场强度; ϵ_0 为真空电容率; \mathbf{P} 为媒质中的电极化强度。上式等号右方第二项 $\partial \mathbf{P} / \partial t$,是由媒质束缚电荷移动引起的;第一项 $\partial \epsilon_0 \mathbf{E} / \partial t$ 则与该处电荷无关,是由电场随时间的变化引起的。令传导电流为 i_C ,则全电流是传导电流 i_C 与位移电流 i_D 之和,即

$$i = i_C + i_D$$

在时变电磁场中,传导电流 i_C 可以是不连续的。例如电容器在充电过程中就有这种情况。如图所示, i_C 流入电容器根根A,但无传导电流由A流出,传导电流不连续。但是,图中的介质内有位移电流 i_D 从A流出,而且 $i_D = i_C$,从而全电流是连续的。全电流连续性的积分形式为

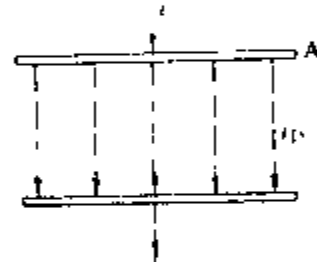
$$\oint_S \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

其微分形式为

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$$

式中 \mathbf{J} 为全电流密度,它等于传导电流密度 \mathbf{J}_C 与位移电流密度 \mathbf{J}_D 之和,即 $\mathbf{J} = \mathbf{J}_C + \mathbf{J}_D$ 。

(马信山)



在充电过程中的电容器

wenjuan

文卷 (file) 由若干个逻辑记录构成的数据集合。它是一种数据结构。记录文卷的读写基本单元是一个记录。记录是由一个或多个数据项组成的集合,数据项是最基本的不可分的数据单位,也是用户可以加工的最小数据单位。例如电工产品目录文卷,由若干个电工产品的记录组成,每一记录包含产品编号、名称、规格型号等数据项。此外,还有一种无结构的数据序列,称之为流式文卷。最常见的是字符流文卷,若将一

个字符看作一个记录,则字符流文卷也是一种特殊的记录文卷。

文卷和数组不同,它的大小在逻辑上可以是无限的。记录在文卷中的排列可能有顺序关系,除此以外,记录之间不存在其它关系,在这一点上它不同于数据库。

根据文卷中记录的组织方式可把文卷分为顺序文卷、索引文卷和直接文卷三类:

顺序文卷 这一类文卷中记录与记录之间存在一种逻辑上的顺序关系,并且文卷各记录在存储介质(如磁带)的物理排列顺序与逻辑顺序一致。按记录的序号或记录的相对位置存取记录是这类文卷的主要使用方式。

索引文卷 这一类文卷中记录与记录之间也存在着一种逻辑上的顺序关系,但记录之间的物理顺序和逻辑顺序不一致,在文卷(主文卷)之外,再建立一张指示逻辑记录与物理记录之间一一对应关系的索引表,利用索引表上的顺序关系来表示相应记录之间逻辑上的顺序。这类包含主文卷和索引表两大部分的文卷称为索引文卷。如在索引文卷中,主文卷内各记录的物理顺序和逻辑顺序也是一致的,则称为索引顺序文卷。当索引文卷中记录的数目很大时,为了提高查阅索引的效率,可以对索引表再建立一个索引,从而形成多层索引文卷。

直接文卷 在这一类文卷中,记录之间逻辑上没有顺序关系,为了存取某一记录,可使用某种算法(常用的是散列算法),根据记录的标识信息直接计算出该记录的存储地址。

在实际工作中,又将文卷分为系统文卷(计算机系统本身拥有的文卷)和用户文卷(各用户自己建立的文卷)两类。

为了便于文卷的管理和应用,每一文卷都有一个名字,称为文卷名。文卷的名字及其属性可以收集在目录中,以便于查找。而目录本身也是一种文卷(目录文卷),因此也可为它们编制目录,从而构成各种层次结构的文卷系统。

对文卷的操作主要有检索和修改两类。对记录文卷的检索可分为四种:①简单检索:查询某一数据项具有给定值的记录;②区域检索:查询某一数据项的值属于给定区域内的记录;③函数检索:先给定文卷中的一个数据项的某个函数,然后对该函数的某个值进行查询,如某一数据项的最大值、最小值、平均值等;④布尔检索:以上三种检索用布尔运算组合起来的查询。文卷的修改包括插入一个记录、删除一个记录和更新记录等操作。对字符流文卷的操作,通常是按字符、字符串、行、页等单位进行的。对文卷的操作有实时和批

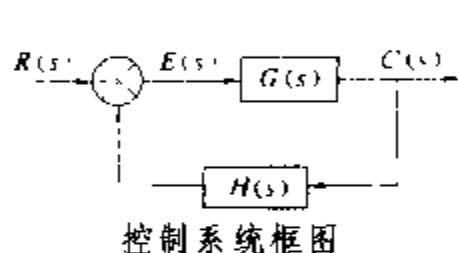
量两种不同处理方式。

(吴美朝)

wentai wucha

稳态误差 (steady state error) 自动控制系统在稳态下的控制精度的度量。控制系统在过渡过程结束后进入稳态。稳态误差越小表明控制精度越高。控制系统设计,要在兼顾其他性能指标的情况下,使稳态误差尽可能小或小于容许的限制值。

按产生的原因分类,有原理性误差和实际性误差。原理性误差是控制系统在原理上必然存在的一类稳态误差。原理性稳态误差为零,控制系统称为无静差系统,否则称为有静差系统。原理性稳态误差能否消除,取决于系统的组成中是否包含积分环节。实际性误差是系统的组成部件中的不完善因素(如摩擦、间隙、不灵敏区等)所造成的稳态误差。这种误差不可能完全消除,只能设法使之减小。



原理性稳态误差分析如下。

如图所示的系统,其闭环传递函数为 $C(s)/R(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$, 同时,有 $E(s) = \frac{1}{1+G(s)H(s)}R(s)$, 由拉普拉斯变换的终值定理,得稳态误差为

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1+G(s)H(s)}$$

当系统的输入为单位阶跃输入 $r(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$ 时,

$$R(s) = 1/s, e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1+G(s)H(s)} \times \frac{1}{s} = \frac{1}{1+G(0)H(0)} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{1+K_p}, \text{ 稳态位置误差系数 } K_p \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{s \rightarrow 0} G(s)H(s) = G(0)H(0)。$$

$$\text{当系统的输入为单位斜坡输入(单位速度输入)} \\ r(t) = \begin{cases} t, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} \text{ 时, } R(s) = 1/s^2, e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1+G(s)H(s)} \times \frac{1}{s^2} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{sG(s)H(s)} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{K_v}, \text{ 稳态速度误差系数 } K_v \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s)。$$

$$\text{当系统的输入为单位抛物线输入(单位加速度输入)} \\ r(t) = \begin{cases} t^2/2, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} \text{ 时, } R(s) = 1/s^3, e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1+G(s)H(s)} \times \frac{1}{s^3} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s^2 G(s)H(s)} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{K_a}, \text{ 稳态加速度误差系数 } K_a \stackrel{\text{def}}{=} \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s)H(s)。$$

分析研究控制系统中的稳态误差，用到控制系统的“型”的概念。控制系统的开环传递函数可表示为

$$G(s)H(s) = \frac{K(T_{as} + 1)(T_{bs} + 1) \cdots (T_{ms} + 1)}{s^{\lambda}(T_{1s} + 1)(T_{2s} + 1) \cdots (T_{ps} + 1)}$$

在分母中包含的项 s^{λ} ，表示在原点处有 λ 重极点。 $\lambda=0, \lambda=1, \lambda=2, \dots$ 时，系统分别称为 0 型、1 型、2 型、 \dots ，依次对应于没有积分环节、有一个积分环节、有两个积分环节、 \dots 。3 型和高于 3 型的系统实际上是极少的。 K 是开环增益。0 型系统不能跟踪斜坡输入，0 型和 1 型系统不能跟踪抛物线输入，这些情况下稳态误差都是无穷大。

综合上述分析，可以列出下表。

稳态误差及稳态误差系数

系统类型	单位阶跃输入		单位斜坡输入		单位抛物线输入	
	K	$e = \frac{1}{1+K}$	K	$e = \frac{1}{K}$	K	$e = \frac{1}{K}$
0	K	$\frac{1}{1+K}$	0	∞	0	∞
1	∞	0	K	$\frac{1}{K}$	0	∞
2	∞	0	∞	0	K	$\frac{1}{K}$
3 及 3 以上	∞	0	∞	0	∞	0

参考书目

绪方胜彦著，现代控制工程，卢伯英等译，北京：科学出版社，1978

(邱家驹)

wentai xiangying

稳态响应 (steady state response) 周期性激励作用于有损、线性、非时变的动态电路时，能长期存在的和激励同周期的响应。当电路中响应为稳态响应时，称电路处于稳态。

若激励是恒定的(相当于周期是无穷长，即直流激励)，稳态响应也是恒定的，可用解直流电路方法求解。若激励的波形是正弦形，稳态响应的波形也是和激励同周期的正弦波，可用相量法求解。

(郑君里)

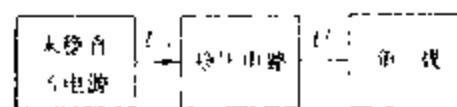
wenya dianlu

稳压电路 (voltage stabilizing circuit)

当输入电压、环境温度、元件参数以及负载等发生变化时，能维持直流输出电压值近于恒定的电路。电力系统中广泛使用的电子仪器以及某些用电设备所需的稳定

直流电源，大部分都是经过稳压电路供给的。

稳压电路的框图如图所示，其输入的未稳直流电源通常由交流电通过整流滤波电路而取得。由于稳压电路本身具有滤波作用，因而未稳直流电源中所用的滤波电路



稳压电路的框图

一般采用比较简单的

纯电容型滤波电路。未稳直流电源通过稳压电路后，形成一个恒压源供给负载。

稳压电路中调整管工作于线性放大区的称为线性稳压电路；调整管处于开关工作状态的称为开关稳压电路。线性稳压电路又可分为硅稳压管稳压电路、串联稳压电路和集成稳压块。

整个稳压电路是一个闭环的反馈系统(见反馈放大器)，其输出电压的微变量 dU_L 与输入电压 U_i 、负载电流 I_L 、环境温度 T 等微变量之间的关系为

$$dU_L = \frac{\partial U_L}{\partial U_i} dU_i + \frac{\partial U_L}{\partial I_L} dI_L + \frac{\partial U_L}{\partial T} dT$$

式中 $\partial U_L / \partial U_i$ 为电压调整率 S_v ； $|\partial U_L / \partial I_L|$ 为输出电阻 r_o ； $|\partial U_L / \partial T|$ 为温度系数，它是稳压电路的三个主要性能指标，其值越小越好。此外，稳压电路还有一些其它性能指标，如输出端的最大纹波电压、噪声电压、输出电压长期稳定性等。

(叶治政)

woliu

涡流 (eddy current) 当金属块处在变化的磁场中或相对于磁场运动时，金属块内部产生的感应电流，亦称涡电流。导体静止而磁场变化或导体在磁场中运动均可引起涡流。电机、变压器运行时，磁路中都存在着交变磁场，因此将产生涡流。这种涡流的害处是既导致电能损耗(见涡流损耗)，又因这种损耗以焦耳热的形式耗散，从而导致电气设备温升。

涡流引起温升的原理常用于感应加热。由于涡流所产生的热量源于导体内部，浪费最少，加热效率高，被加热物体的氧化损失少。因此感应加热的方法广泛应用于冶金工业，特别适用于难熔金属或易氧化金属。此外，当需要加热的零件被绝热物质包围时，感应加热是唯一可行的方法。电真空器件加热除气即为典型例子。目前，感应加热已开始用于日常生活，如微波炉等。

涡流的另一用途是用来使运动物体产生阻尼。指针式仪表中为了防止指针在测量中摆动不止，难以读数，便将线圈绕在铝框上，摆动时铝框内产生涡流，依照楞次定律，其结果必然是阻止摆动。

(黄嘉豫)

woliu sunhao

涡流损耗 (eddy current loss) 由涡流引起的能量损失。是电机、变压器等电气设备中铁芯损耗的两个组成部分之一(另一部分为磁滞损耗)。涡流损耗的害处一是损失了能量,降低了电气设备的效率,二是导致电气设备温升。为了维持额定温升,必须增大体积或采用冷却措施。因此电气设备设计中应尽量减少涡流损耗。

交变磁场在铁芯中引起的涡流损耗取决于许多因素,主要有交变磁场的频率 f ,最大磁感应强度 B_m ,铁芯的电阻率 ρ 及形状、尺寸等。此外,还与磁通的波形,磁通在铁芯截面上的分布等因素有关。在使用硅钢片叠合铁芯时,单位时间、单位体积内的涡流损耗 W_v 可按式估算: $W_v = K f^2 d^2 B_m^2 / \rho$,式中常数 K 的选择取决于 f 、 d 、 B_m 及 ρ 以外的因素,可根据经验,成试探性地选取, d 是硅钢片的厚度。

由此可以看出应如何减少涡流损失。还可看出,在感应加热的情况下,为了增加涡流产生的热量,最主要的手段应是提高工作频率。

(黄嘉豫)

wucixing gangtie cailiao

无磁性钢铁材料 (non-magnetic steel)

常温下不呈现磁性的钢铁材料。在某些仪表及有特殊要求的元器件中,需要机械强度大而无磁性的钢铁材料,例如各种电子透镜的电极材料应无磁性。铁磁体在居里温度以上失去磁性。因此选用居里点在室温以下的铁磁材料,在室温以上使用时均无磁性。

常用的无磁性钢铁合金有不锈钢、Nomag合金、Nimal合金、Niresist合金、锰钢等。

(1) 不锈钢:含Ni 18%、Cr 8%,其余为Fe。

(2) Nomag合金:含Ni 9%~12%、Mn 5%~7%、Si 2%~2.5%、C 2.5%~3%,其余为Fe。

(3) Nimal合金:含Ni 12%~14%、Cr 2%~4%、Cu 6%~8%、Mn 0.4%~0.6%、Si 1.5%~2%、C 2.7%~3%,其余为Fe。

(4) Niresist合金:含Ni 12%~15%、Cr 1.5%~4%、Cu 5%~7%、Mn 1%~1.5%、Si 1.2%~2%、C 2.7%~8%,其余为Fe。

(5) 锰钢:含Mn 12%~14%、C 1%~1.2%,其余为Fe。

此外,铁的奥氏体也是无磁性材料。

(黄嘉豫)

wugong diannengbiao

无功电能表 (var-hour meter; reactive

energymeter)

测量交流电路中无功电能的电表。感应系无功电能表的基本结构与有功电能表相同。三相无功电能表按测量机构的内相角(α_v 、 α_I)分为 180° 、 90° 及 60° 三类, α_v 为 $\dot{\phi}_v$ 滞后于 \dot{U} 的相位角; α_I 为 $\dot{\phi}_I$ 滞后于 \dot{I} 的相位角。对于 180° 无功电能表,因其性能较差,功耗大,结构较复杂,很少使用,故不予介绍。

90° 无功电能表 适用于简单不平衡线路,此时,三相线电压 $U_{AB}=U_{BC}=U_{CA}=U=\sqrt{3}U_\phi$, U_ϕ 为相电压。对于三元件结构,按表中的接线方式,电能表的转矩决定于 $(UI_A\sin\varphi_A + UI_B\sin\varphi_B + UI_C\sin\varphi_C)$,其中 I_A 、 I_B 、 I_C 分别为三条线中的电流; φ_A 、 φ_B 、 φ_C 为三相的功率因数角。对于两元件结构,按表中的接线方式(两电流元件的电流分别为 $\dot{I}_A - \dot{I}_B$ 及 $\dot{I}_C - \dot{I}_B$),电能表的转矩决定于 $\sqrt{3}(U_\phi I_A\sin\varphi_A + U_\phi I_B\sin\varphi_B + U_\phi I_C\sin\varphi_C)$ 。可见对此两种情况,电能表的转矩都与三相总无功功率成正比,但均比实际值大 $\sqrt{3}$ 倍,这可用改变电表常数予以修正。

三相无功电能表的接线方式

内相位角	电网条件	线路形式	接 线 图
90°	简单不平衡线路	三线	
		四线	
	正相序	三线	
		四线	
60°	简单不平衡线路	三线	
	正相序	四线	

60° 无功电能表 在电能表的电压线圈中串接电阻,并加大电压非工作磁通的磁阻,使 $\alpha_v - \alpha_I = 60^\circ$ 。对简单不平衡线路,不论是两元件结构还是三元件结构,

如按表中所列接线方式, 电表的转矩都决定于 $(U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C)$; 也就是电能表的转矩与三相无功功率成正比, 即电能表能正确记录三相总无功电能。

三相无功电能表的准确级别为 3 级、2 级和 1 级, 比有功电能表低一个级别。使用时应注意相序的正确性。在完全不平衡线路中, 90° 及 60° 三相无功电能表均有较大测量误差。

见无功功率测量。

(程世镐)

wugong gonglu

无功功率 (reactive power) 电力系统中表述视在功率超过有功功率程度的重要辅助量。它具有功率的量纲, 单位为乏 (var)。无功功率 Q 常作为衡量视在功率 S 超过有功功率 P 的指标之一。对于消耗相同有功功率 P 的负荷, 负荷所需要的无功功率 Q 越大, 则要求电源设备的容量 (由视在功率 S 代表) 越大。而且电网中有无功功率流动时, 要引起电压损失, 并且使线路损耗增大。负荷本身所需要的无功功率本来是要由电源提供的, 但是可以在负荷侧装设补偿负荷无功功率的设备以减少负荷侧对无功功率的需求, 从而降低电源设备容量和线路损耗, 这种技术措施叫做无功补偿。

常见的无功功率定义有三种: 电压、电流的波形是同频率正弦波时的无功功率, 电压、电流的波形是同周期非正弦波时按谐波分析的无功功率和电压、电流的波形是同周期非正弦波时按波形分析的无功功率。

电压、电流的波形是同频率正弦波时的无功功率 设 U 和 I 分别是二端电路电压和电流的有效值, φ 是电流滞后于电压的相角, 则无功功率 Q 定义为 $Q = UI \sin \varphi$ 。相应地, 有功功率 $P = UI \cos \varphi$, 视在功率 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 。若称 $I \sin \varphi$ 为电流 I 的无功分量 I_q , 则无功功率又可定义为电压 U 和电流的无功分量 I_q 的乘积。当 $P > 0$, $Q \neq 0$ 时, 二端电路除了从电源获得有功功率 P 以外, 还有一部分能量在电路和电源之间不断地交换。例如二端电路是电感性电路, 此时 $P = 0$, $Q \neq 0$, 只有能量交换, 无功功率 Q 之值是能量交换的最大速率, 也是瞬时功率的最大值。

习惯上, 规定电感性负荷吸收的无功功率 Q 为正, 电容性负荷吸收的无功功率 Q_c 为负 ($Q_c < 0$), 这与令 φ 为电流滞后于电压相角的规定一致。一般的电力负荷多为电感性的, 若用电容器与负荷并联, 则负荷侧吸收的总无功功率 $Q' = Q + Q_c < Q$, 即负荷侧的无功功率部分地由电容器的无功功率 Q_c 补偿, 由补偿前的 Q 降低到补偿后的 Q' 。

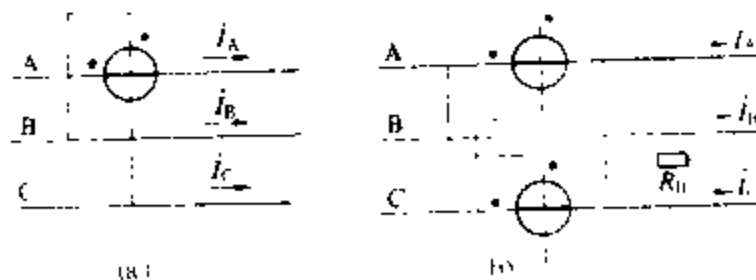
电压、电流的波形是同周期非正弦波时按谐波 (频域) 分析的无功功率 将二端电路的电压和电流的非正弦周期波形分别分解成傅里叶级数, 设 U_n 和 I_n 分别是第 n 次谐波电压和电流的有效值, φ_n 是第 n 次谐波电流滞后于第 n 次谐波电压的相角, 则第 n 次谐波的无功功率 $Q_n = U_n I_n \sin \varphi_n$ 。由上一定义引伸, 此时定义无功功率等于基波和各次谐波的无功功率之和, 若将基波当作第一次谐波看待, 则无功功率 $Q = \sum_{n=1,2,\dots} U_n I_n \sin \varphi_n$ 。虽然至今尚没有满意的测量它的方法和仪表, 但此定义仍被广泛使用。按照这个定义, $S^2 \neq P^2 + Q^2$ (参见时变功率)。

电压、电流的波形是同周期非正弦波时按波形 (时域) 分析的无功功率 首先从电流 $i(t)$ 分解出有功电流 $i_p(t)$; $i_p(t)$ 的波形与电压 $u(t)$ 的波形一致, 即 $i_p(t) \propto u(t)$, 而且 $i_p(t)$ 与 $u(t)$ 产生的有功功率等于 $i(t)$ 与 $u(t)$ 产生的有功功率。电流 $i(t)$ 的其余部分称为无功电流 $i_q(t)$, 即 $i_q(t) = i(t) - i_p(t)$ 。若令 U 、 I 、 I_p 和 I_q 分别为电压、电流、有功电流和无功电流的有效值, 则无功功率等于电压有效值和无功电流有效值的乘积, 即 $Q = UI_q$, 并有 $P^2 = I_p^2 - I_q^2$ 及 $S^2 = P^2 + Q^2$ 。当电压、电流是正弦波形时, 这里定义的无功电流 I_q 和无功功率 Q , 和第一个定义里的一致。通常根据时域分析的无功补偿方法是, 由静止无功补偿电源向负荷注入无功电流 $i_q(t)$, 则电源只需向负荷提供有功电流 $i_p(t)$ 。

(孙树勤)

wugong gonglǔbiào

无功功率表 (varmeter) 测量交流无功功率量值的电表。无功功率是电压、电流有效值及两者相位差角正弦的乘积。如能将被测电压移相 90° 并变换成相位移 90° 的小电流, 通入电动系功率表测量机构的动圈, 即可测量无功功率。在电力系统中常利用三相电压、电流间相位差为 120° 的关系, 在不同相间进行跨接来实现 90° 相位移, 如图 (a) 所示。利用此种接法, 即可采用常规的有功功率表来测量三相完全对称系统的无功功率。功率表的示值是 A 相无功功率的 $\sqrt{3}$ 。



测量无功功率的接线图

(a) 跨相 90° 接法; (b) 两只功率表法

倍,再乘 $\sqrt{3}$ 即等于三相无功功率。如此对三相简单不对称(即线电压对称,但电流可不对称)系统则需用三只功率表,每相各接一只,都采用 90° 跨接法。三只功率表示值之和除以 $\sqrt{3}$ 即为三相无功功率值。对二相三线简单不对称系统也常采用两只功率表,按图(b)的线路连接,测量三相无功功率。图(b)中, R_0 的电阻值应与功率表电压回路的内阻值相等。三相无功功率值为两表示值之和的 $\sqrt{3}$ 倍。实际的三相无功功率表是在一只表内装多个测量机构,标度已计入 $\sqrt{3}$ 倍的关系,可由表盘上直接读取三相无功功率值。

无功功率表的量程可由数百乏至数千乏,附加测量互感器可达数百兆乏。电动系无功功率表的频率范围由数十赫至几千赫。20世纪80年代无功功率表的最高准确级别已可优于0.2级。配电盘所用无功功率表的准确级别一般都较低。

无功功率表受谐波影响大,只可在实际上是正弦波形电压和电流的线路中使用。

(郑英华)

wugong gonglü celiang

无功功率测量 (reactive power measurement) 单位时间内交流电路无功电能量值的测量。单位为乏(var)。

可采用无功功率表直接测量无功功率。

见无功功率表。

(谈克雄)

wuji gùti jueyuan cailiao

无机固体绝缘材料 (inorganic solid insulating materials) 用于电气绝缘的固体无机材料。主要包括陶瓷、玻璃和云母等。最早的无机固体绝缘材料由硅酸盐组成,近几十年来,随着科学技术的发展,无机固体绝缘材料有了很大发展,除了传统的硅酸盐材料外,许多纯氧化物、复合氧化物、氮化物、硼化物等也成为无机绝缘材料。应用范围也由电力系统扩展到其他领域。

无机固体绝缘材料多由兼有离子键和共价键的物质构成,因此它们的一般特性是质地脆,硬度大,抗压强度高,耐高温,抗氧化,抗化学腐蚀性能以及电气绝缘性能良好,在电气绝缘技术中,特别是在户外绝缘、高温绝缘和严酷条件下绝缘中获得广泛的应用。

无机固体绝缘材料按其聚集状态和结构可分为单晶、多晶、非晶态和它们的许多复合体系。在应用上,除一般固体块状材料外,还发展了诸如纤维、薄膜和涂层等特殊外形的材料。无机固体绝缘材料除可单独使

用外,常与有机高分子材料复合,取长补短,制成性能优良的复合材料。

(陈寿田)

wuyuan erduan yuanyuan

无源二端元件 (passive two-terminal elements) 具有两个端子且又是无源的电路元件。通常指电阻器、电容器和电感器。

电阻器 用来提供电阻的器件。电阻器的图形符号及电路如图1所示。其元件特性用元件两端的电压与其电流的关系来表示,这种特性也称为伏安特性。电阻器的消耗功率可表示为 $p=ui$,恒大于或等于零,因此电阻器是一耗能元件。

图1 电阻器图形符号及电路

根据伏安特性是否呈线性,电阻器可区分为线性电阻器和非线性电阻器;根据伏安特性是否随时间变化,电阻器又可区分为时变电阻器和非时变电阻器。

(1) 线性非时变电阻器:在图1所示的电压、电流参考方向下,线性非时变电阻器的伏安特性是一条在 u, i 平面上通过坐标原点,且处于一、三象限内的直线(见图2)。线性非时变电阻满足欧姆定律,可表示为

$$u = Ri$$

式中 R 是电阻参数,为一

正常数,它正比于伏安特性的斜率,即 $R \propto \tan \alpha$ 。线性电阻器的功率可进一步表示为 $p=ui=Ri^2=\frac{u^2}{R}$ 。

图2 线性电阻器的伏安特性

(2) 非线性非时变电阻器:在图1所示的电压、电流参考方向下,它的伏安特性是在 u, i 平面上通过坐标原点且处于一、三象限内的曲线(非直线),可表示为 $f(u, i)=0$ 。图3所示为一避雷器的伏安特性曲线。从电路元件的角度看避雷器是一非线性非时变电阻器。对于非线性电阻有时引用静态电阻 R 和动态电阻 R_d 的概念,它们分别定义为



图3 非线性电阻器的伏安特性

$$R \stackrel{\text{def}}{=} \frac{u}{i} \quad R_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{du}{di}$$

显然,静态电阻 R 和动态电阻

R_d 一般都是电压 u 或电流 i 的函数。在图 3 中, A 点的静态电阻正比于该点至原点直线 (\overline{OA}) 的斜率, 即 $R \propto \tan \alpha$ 。A 点的动态电阻正比于伏安特性曲线在该点切线的斜率, 即 $R_d \propto \tan \beta$ 。

(3) 线性时变电阻器: 图 4 表示一线性时变电阻器的伏安特性。其伏安特性是在 u, i 平面上通过原点且处于一、三象限内, 其斜率随时间变化的无数条直线。每一条直线对应于某一时刻 t 。线性时变电阻器也满足欧姆定律, 可表示为

$$u = R(t)i$$

但这时, 电阻参数 $R(t)$ 是某一时间的函数。例如, 正在调节的电位器, 它的电阻值随时间变化, 就是一个线性时变电阻器。

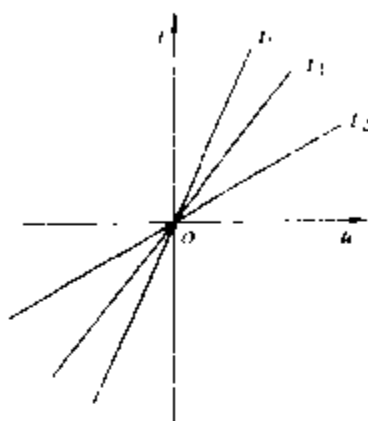


图 4 某一线性时变电阻器的伏安特性

(4) 非线性时变电阻器: 其伏安特性呈非线性且又随时间变化, 一般可表示为

$$f(u, i, t) = 0$$

电容器 用来提供电容的器件。电容器的图形符号及电路如图 5 所示。其元件特性用元件两端的电

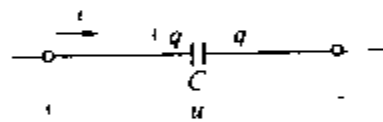


图 5 电容器的图形符号及电路

荷与其电压的关系来表示, 这种特性又称为库伏特性。根据库伏特性是否呈线性, 电容器可区分为线性电容器和非线性电容器; 根据库伏特性是否随时间变化, 电

容器又可分为非时变电容器和时变电容器。

(1) 线性非时变电容器: 在图 5 所示的电荷、电压参考方向下, 线性电容器的库伏特性是一条在 q, u 平面上通过坐标原点, 且处于一、三象限内的直线 (见图 6), 即电荷和电压呈正比关系, 可表示为

$$q = Cu$$

式中 C 是电容参数, 为一正常数, 它正比于库伏特性的斜率,

即 $C \propto \tan \alpha$ 。该元件的电压、电流关系为

$$i = C \frac{du}{dt}$$

线性非时变电容器不消耗能量, 它是一储能元件, 它储存的电场能量 W_C 为

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2$$

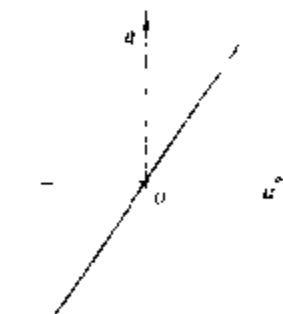


图 6 线性电容的库伏特性

线性非时变电容器在电路中可作为滤波、谐振、能量转换等功率处理器件使用。例如电力系统中常采用它来改善电网的功率因数。

(2) 非线性非时变电容器: 其库伏特性不是一条通过原点的直线, 可表示为: $f(q, u) = 0$ 。图 7 表示某一非线性非时变电容器库伏特性。

非线性非时变电容可用于分频、参量放大、电子调谐等电路。

类似于电阻器, 时变电容器特性可表示为 $f(q, u, t) = 0$, 这里不再详述。但应指出的是, 它们可以输出功率, 因此可以是有源元件。也可以是无源元件, 这是区别于非时变电容元件的一个重要特点。

图 7 某一非线性非时变电容器库伏特性

电感器 用来提供电感的器件。电感器的图形符号及电路如图 8 所示。其元件特性用元件的磁链与其

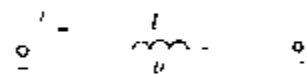


图 8 电感器的图形符号及电路

电流的关系来表示, 这种特性称为韦安特性。根据韦安特性是否呈线性, 电感器可区分为线性电感器和非线性电感器; 根据韦安特性是否随时间变化, 电感器又可分为非时变电感器和时变电感器。

(1) 线性非时变电感器: 在磁链和电流的参考方向为右手螺旋关系时, 线性电感器的韦安特性是一条在 ψ, i 平面上通过坐标原点, 且处于一、三象限的直线 (见图 9), 即磁链和电流呈正比关系, 可表示为

$$\psi = Li$$

式中 L 是电感参数, 为

一正常数, 它正比于韦安特性的斜率, 即 $L \propto \tan \alpha$ 。该元件的电压、电流关系为

$$u = L \frac{di}{dt}$$

线性非时变电感器不消耗能量, 是一储能元件, 它储存的磁场能量等于

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2$$

线性非时变电感器在电路中可作为滤波、谐振、能量转换等功率处理器件使用。电力系统中也常采用它来限制短路电流。

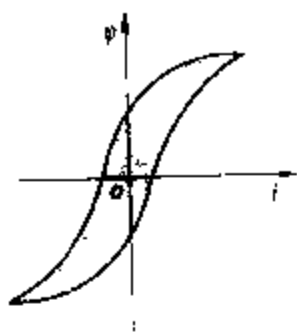


图 10 含铁芯线圈
的韦安特性

(2) 非线性非时变电感器: 其韦安特性不是一条通过原点的直线, 图 10 中表示的是一含铁芯线圈的韦安特性。电力设备中如变压器绕组圈、电机绕组等都是含铁芯线圈, 它们都属于非线性非时变电感器。由于磁饱和现象, 它们都有

类似图 10 所示的特性。

类似于电阻器, 时变电感器的特性一般可表示为 $f(\psi, i, t) = 0$ 。应指出的是, 它们可以输出功率, 因此可以是有源元件, 也可以是无源元件, 这是区别于非时变电感器的一个重要特点。

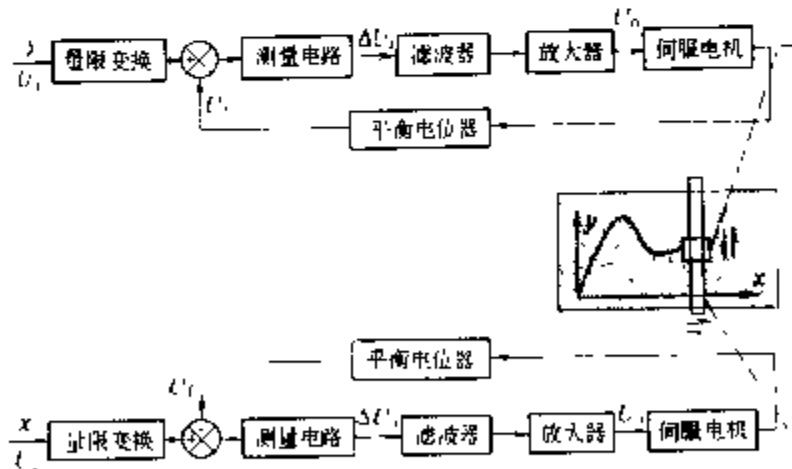
(龚绍文)



x-y jiluyi

x-y 记录仪 (x-y recorder) 使记录笔沿正交的两个方向移动的记录仪表。它可在直角坐标系中自动描绘两个电量的函数关系, 即 $y=f(x)$ 。

仪器采用了自动平衡原理。两个正交轴各由一套独立的随动系统带动, 其原理框图如图所示。被测信号 U_i 通过量限变换电路送入测量电路; 测量电路由一个基准稳压电源和平衡电位器组成。被测信号 U_i 与平衡电位器的电压 U_r 相比较, 其差值电压 ΔU_i 送到放大器。放大后的电压为 U_a , 用来控制伺服电机转动。记录仪的记录笔通过齿轮、拉线与电机相连; 电机转动时记录笔就在 x 轴及 y 轴上移动, 在记录纸上描绘出相应的曲线。另一方面电机也拖动平衡电位器的电刷产生平衡信号 U_r , 对被测信号进行平衡。当 $U_i=U_r$ 时, $\Delta U_i=0$, 线路平衡; 伺服电机停止转动时, 记录笔停止在某一相应的位置上。 U_r 的大小和平衡电位器电刷的移动位置相对应, 而记录笔又和电刷连接在一起, 所以记录笔每一瞬时的位置都反映了被测信号 U_i 的相应数值, 所记录的曲线就是 U_i 连续变化的过程。为了消除由于仪表输入端、平衡电位器等系统带来的干扰, 在放大器前加了滤波器线路。而量限变换电路主要用来扩展测量范围。



x-y 记录仪框图

x-y 记录仪配置有高增益的伺服放大器, 其线性和灵敏度都较高。由于自平衡系统中采用了伺服电机作执行元件, 因而记录速度慢, 只能用来记录变化缓

慢的电量及可以转换成电量的各种缓变非电量。

在使用 x-y 记录仪进行测量时, 应注意输入信号中不应有交流干扰; 对仪器输入端及输入端对地之间的干扰应尽量排除或抑制到最低水平, 以免影响仪器的正常运行。

这种记录仪器若采用多个通道, 则可同时描绘几个因变量与自变量之间的函数关系, 即 $y_1=f(x)$, $y_2=f(x)$, $y_3=f(x)$, 以便于互相比对和分析。

(王 健)

xilin dianqiao

西林电桥 (schering bridge) 见交流电桥。

ximenzi

西门子 (siemens) 国际单位制 (SI) 中电导、电纳、导纳等量的单位。西门子简称西, 符号是 S。当导线中不存在电动势, 在导线的两点即两个等位面之间加 1V 恒定电压时可产生 1A 恒定电流, 则此两点之间导线的电导定义为 1S。

(肖达川)

xianwei caoliao

纤维材料 (fibre materials) 由纤维状物质组成, 可用来制造纸或纺织物的材料的统称。纤维材料分为天然纤维、无机纤维和合成纤维三大类。天然有机纤维或合成纤维可以制成纸或各种纺织品直接用做绝缘材料; 或制成纸后再浸以液体电介质成为浸液纸用作电容器介质、电缆和变压器绝缘; 或浸 (涂) 以绝缘树脂 (胶) 后经热压、卷制成绝缘层压、卷制品; 或制成纺织物后用绝缘漆浸液制成绝缘漆布 (带)、漆绸等用作电机和变压器的绝缘。天然无机纤维可以单独使用, 也可以同植物纤维或合成纤维结合使用, 作为耐高温绝缘材料。

天然纤维 包括植物纤维和动物纤维。植物纤维有棉、麻和木纤维等, 主要成分是纤维素 $(C_6H_{10}O_5)_n$, 分子量较大, 分子中含有 OH 基。纤维素可以形成细管状的微纤维, 再由微纤维构成直径约 0.02~0.07 mm 的空心管状植物纤维, 使材料具有多孔性结构。植物纤维材料吸湿性大, 浸液性好, 耐热性较差。吸湿后的植物纤维材料的机械强度和电气绝缘性能变差; 浸液后的植物纤维材料的介电性能大为提高。此外, 通过乙酰化、氰乙基化等化学改性手段或加入添加剂也可以改善天然植物纤维的吸湿性、耐老化性能、机械强度以及电气绝缘性能。

电工中使用的动物纤维主要为蚕丝, 其形态与植

物纤维大不相同,是一类光滑的长丝,其耐热性也较差。

合成纤维 用高分子量的聚合物加于有机溶剂中(有时还加助溶剂)制成纺丝液后再用干法或湿法纺丝工艺制造。电工中有重要用途的合成纤维材料是聚芳酰胺(Nomex)和聚酯。聚芳酰胺在电机制造中用作F级、H级绝缘,在变压器中也有应用。它具有较高的化学稳定性、水解稳定性和耐辐射性,耐热性好。

在电工中使用的天然纤维和合成纤维材料都要浸渍绝缘油或树脂(胶)或漆,或经脱脂加工处理,以减少吸湿性,提高耐热性,增加柔软性和弹性,提高介电性能和机械强度。

无机纤维 电工中常用的无机纤维材料有玻璃纤维和石棉。常用作电气绝缘材料的石棉是温石棉,其主要化学组成为含结晶水的正硅酸镁盐,当温度高达450~700℃时,将失去化合水而变成粉状物。石棉的特点是耐热性很高,但其介电性能较差。石棉常用作耐高温的低压电机和电器的绝缘、密封和衬垫材料。玻璃纤维在电机绝缘、印刷电路板中都有广泛应用。

(谢恒堃)

xiandai kongzhi lilun

现代控制理论 (modern control theory)

建立在状态空间法基础上的自动控制理论,是自动控制理论的主要组成部分。

20世纪20~30年代诞生、40~50年代成熟的经典控制理论,用于处理单输入单输出控制系统的问题,是很有效的。20世纪50年代,空间技术迅速发展,迫切需要解决多变量系统的最优控制问题。学者们试图把经典控制理论推广到多变量系统的控制,都遭到了失败,需要寻求新的理论和方法,于是现代控制理论诞生了。现代控制理论通过对系统的状态变量描述来进行控制系统的分析和设计,基本的方法是时域方法。现代控制理论所能处理的控制问题比经典控制理论广泛得多,包括单变量系统和多变量系统、线性系统 and 非线性系统、定常系统和时变系统、确定性系统 and 非确定性系统(包括随机系统和模糊系统)。

在空间技术等方面的推动下,关于现代控制理论的研究获得了积极的推进,并取得了一批杰出的成果。1956年П.С. 庞特里雅金(П.С. Понтрягин)创立了极大值原理(见“极小值原理”)。同年,R.E. 贝尔曼(R.E. Bellman)创立了动态规划。这两者为最优控制建立了理论基础。1959年R.E. 卡尔曼(R.E. Kalman)提出了卡尔曼滤波。1960年卡尔曼提出了控制系统的可控性和可观测性。上述这些重要成果的取得标志着现代控制理论的形成。在1960年第一

届全美联合自动控制会议上确认了现代控制理论这一学科。其后,世界上广泛同意使用这一学科名称。

学科的基本内容

线性系统理论 这是本学科的基础分支,主要研究线性控制系统的控制和观测问题,基本的分析和综合方法是状态空间法。

最优控制理论 所要解决的问题是,按照控制对象的动态特性,选择一个容许控制,使控制对象按技术要求运行,同时使性能指标达到最优。(见最优控制、最短时间控制和线性二次型最优控制)

非线性系统理论 主要成果是关于非线性现象的研究和非线性系统稳定性的判定。主要分析方法有等效线性化方法(见非线性系统的线性化方法)和李雅普诺夫直接法(见李雅普诺夫方法)。非线性系统理论远不如线性系统理论成熟和完整。由于数学处理上的困难,至今还没有一种通用的方法可用来处理所有类型的非线性系统。

随机控制理论 关于具有随机信号、随机噪声和随机特性的系统的控制理论。这里,既有最优估计问题(包括预测、滤波和平滑问题),即从受到随机干扰的输出向量估计状态向量,又有随机最优控制问题,主要是线性二次型高斯(LQG)问题。后者可分为两部分,一是用卡尔曼滤波技术从输出求状态的估计值,另一是按确定性线性二次型最优控制问题用上述估计值求状态反馈最优控制律。(见随机控制理论、卡尔曼滤波和随机最优控制)

动态系统辨识 在系统的方程即数学模型未知的情况下,从系统输入和输出求系统的方程,同时确定模型结构和参数,这是系统辨识问题。模型结构已经确定,由输入输出估计其参数,这是参数估计问题。(见动态系统辨识)

适应控制理论 模仿生物适应能力,随时辨识系统的数学模型,据以形成及修正最优控制律的控制理论。(见适应控制系统、自校正适应控制系统和模型参考适应控制系统)

其他 现代控制理论的学科内容十分广泛,又非常活跃,一些新的分支在陆续崛起,其中主要的有:

(1)鲁棒控制:控制系统在其特性或参数发生摄动时仍可使系统性能指标保持不变的属性称为鲁棒性(robustness)。鲁棒性是一切类型的控制系统的设计中必须考虑的一个基本问题。使控制系统具有良好的鲁棒性的控制是鲁棒控制。以准确地跟踪外部参考输入信号和完全消除扰动的影响为稳态性能指标的鲁棒性称为结构无静差性。使系统实现结构无静差的控制器称为鲁棒调节器。

(2)模糊控制:采用由模糊数学语言描述的控制律

(控制规则)来操纵系统工作的控制方式。采用这种控制方式的原因是:在实际工程中,许多系统和过程都十分复杂,难以建立确切的数学模型和设计出通常意义下的控制器,只能由熟练的操作者凭借经验以手动方式控制,其控制规则常常以模糊的形式存在于操作者的经验中,很难用传统的数学语言来描述。

(3)智能控制:在无人干预的情况下能自主地驱动智能机器实现控制目标的自动控制。

(4)多变量频域方法:用多项式矩阵理论把状态空间法同经典频域方法结合起来,研究线性定常多变量控制系统的一套理论和设计方法。

(5)非线性系统理论的一些新的研究成果:双线性系统理论(一种特殊类型的非线性系统);流形上的控制理论(微分流形是通常意义下光滑曲面概念的推广);非线性反馈(在某些系统中比采用线性反馈有更好的性能,已由一种控制技术形成一种控制理论);分岔理论(研究分岔现象的特性和产生机理的数学理论);突变论;耗散结构理论等等。

展望 当今控制理论面临着处理下述问题的挑战。

非线性问题 种种非线性现象已被揭示,例如自激振荡、分谐波振荡、频率捕捉、异步抑制、分岔、混沌、奇异吸引子等等,有待于深入研究。线性元件的集成不可能产生质的飞跃,但非线性元件的集成却可以产生质的飞跃,可以形成联想、学习、智能功能等,可以实现寻优的计算,元胞自动机和神经网络等都是由非线性元件组成的。非线性科学与非线性控制结合起来,将会出现光明的前景。

鲁棒性问题 鲁棒稳定性分析的结果还很少,鲁棒镇定和鲁棒综合问题的研究刚开始,对于鲁棒控制要求系统由干扰至偏差的传递函数的 H_∞ 范数取极小的优化问题还有很多研究工作要做。

具柔性结构的问题 例如,转臂机械手、大尺度太阳能帆板、系留卫星(航天器与卫星面以绳联结)等的控制。

离散事件系统的问题 这类系统状态的改变不是由时间尺度,而是由事件的产生或结束来决定,描述这类系统的模式就不是常见的方程模式。这一研究对于生产过程自动化、自动化调度、计算机通信等一系列问题有深远的意义。

此外,还要处理多模式子系统的集成、复杂的相互关联、环境的复杂多变与要求强的适应能力以及控制与决策的复杂性等问题,解决好这些问题,将为复杂系统控制理论创造条件。

参考书目

周凤岐等. 现代控制理论引论. 北京:国防工业出

版社, 1988

(于 渤)

xiandianliu

线电流 (line currents) 三相电路中三根端线中的电流。A、B、C 三相的线电流分别为 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 和 \dot{I}_C 。

线电流和相电流间的关系是:①对星形接线,线电流等于对应的相电流;②对三角形接线,线电流和相电流之间的关系为

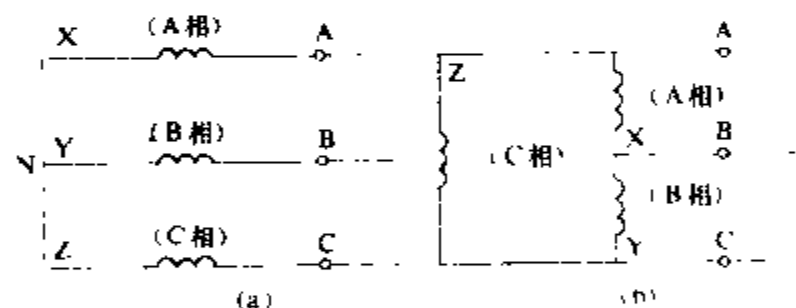
$$\dot{I}_A = \dot{I}_{BA} - \dot{I}_{AC}, \dot{I}_B = \dot{I}_{CB} - \dot{I}_{BA}, \dot{I}_C = \dot{I}_{AC} - \dot{I}_{CB}$$

当三相电源(或三相负载)的线电流和相电流均为正序(负序)对称组时,对星形接法有 $I_l = I_p$, 对三角形接法有 $I_l = \sqrt{3} I_p$ 。这里, I_l 和 I_p 分别为线电流和相电流的有效值。

(范丽娟)

xiandianya

线电压 (line voltages) 三相电路中 A、B、C 三相引出线相互之间的电压,又称相间电压。不论星形接线还是三角形接线,三个线电压分别是 \dot{U}_{AB} 、 \dot{U}_{BC} 和 \dot{U}_{CA} , 如图所示。



三相电源的线电压

线电压与相电压间的关系是(以电源侧为例):①对三角形接线,线电压就等于对应的相电压;②对星形接线,则线电压与相电压之间的关系为 $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN}$ 、 $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN}$ 和 $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN}$ 。

若三相电源的相电压为正序(负序)对称组,则三相线电压也为正序(负序)对称组。这对三角形电源(或三角形负载)是不言而喻的。对星形电源(或星形负载),以正序对称组为例,有

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} = \sqrt{3} \dot{U}_{AN} \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN} = \sqrt{3} \dot{U}_{BN} \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = \sqrt{3} \dot{U}_{CN} \angle 30^\circ$$

可见,在对称三相电路中,不论三相电源或三相负载,在三角形接法时有 $U_l = U_p$, 在星形接法时有 $U_l = \sqrt{3} U_p$, 这里, U_l 和 U_p 分别为线电压和相电压

的有效值。

(范丽娟)

xianxing ercixing ciyou kongzhi

线性二次型次优控制 (linear quadratic suboptimal control) 使用二次型性能指标的

线性定常系统次优控制或准最优控制。线性二次型最优控制要求使用全部状态变量反馈, 因为最优控制应该由反映系统内部状态的全部信息参与组合。但在工程实际中, 并非所有的状态变量都是能够测取或易于测取的。例如, 最优控制规律为 $u^* = Kx$, x 是状态向量, u^* 是最优控制, 但矩阵 K 的元素不是都能自由选择的。还由于系统在物理方面的约束, 某些增益被固定了, 相对缺少灵活性。再者, 全部状态可能不能都被取来供反馈, 而必须构造状态观测器, 相对面言复杂性加大。

这样, 就出现了次优控制问题。这时, 只使用能够取到的状态变量实施反馈, 反馈矩阵 K 的某些元素则是受约束的。这样, 达不到“最优”, 只能是“次优”。

定常系统的状态方程为

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维控制向量。

设系统完全可控, 性能指标为

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\infty [x^T Q x + u^T R u] dt \quad (2)$$

式中 R 为正定实常数对称矩阵; Q 为正半定实常数对称矩阵。设矩阵对 (A, Γ^T) 可观测。 Γ 由下式定义: $\Gamma \Gamma^T = Q$ 。

次优控制规律是诸状态变量的线性组合

$$u(t) = Kx(t) \quad (3)$$

式中 K 为 $p \times n$ 常数矩阵。闭环系统的方程为

$$\dot{x}(t) = (A + BK)x(t) \quad (4)$$

将控制向量表达式 (3) 代入式 (2), 得

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{2} \int_0^\infty (x^T Q x + x^T K^T R K x) dt \\ &= \frac{1}{2} \int_0^\infty x^T (Q + K^T R K) x dt \end{aligned} \quad (5)$$

应用李雅普诺夫方法, 设一个李雅普诺夫函数

$$V(x) = \frac{1}{2} x^T P x \quad (6)$$

式中 P 为正定实常数对称矩阵。随之, 有

$$\begin{aligned} \dot{V}(x) &= \frac{1}{2} (\dot{x}^T P x + x^T P \dot{x}) \\ &= \frac{1}{2} x^T [(A + BK)^T P + P(A + BK)] x \end{aligned} \quad (7)$$

接着可建立下述方程, P 和 K 的函数关系由之确定

$$(A + BK)^T P + P(A + BK) + K^T R K + Q = 0 \quad (8)$$

关于 K 的全部可用的元素 k_{ij} , 使 $J = \frac{1}{2} x^T(0) \times P x(0)$ 取极小, 即令

$$\frac{\partial}{\partial k_{ij}} [x^T(0) P x(0)] = 0 \quad (9)$$

可以得到次优控制规律。对应于次优控制的矩阵 K 还必须满足进一步的约束, 使闭环系统是渐近稳定的。

有些情况下, 将输出向量乘以适当的反馈矩阵, 构成控制向量, 这是输出反馈。具有输出反馈的调节器也是一种次优控制, 它的反馈信息是不完全的。但是, 次优控制不是只有输出反馈一种情况。具有输出反馈的调节器与输出调节器是不同的, 输出调节器性能指标向输出变量提要求, 但其最优控制规律还是全状态反馈。

(于 渤)

xianxing ercixing zuoyou kongzhi

线性二次型最优控制 (linear quadratic optimal control) 使用二次型性能指标的线性系统最优控制。它可得到状态线性反馈的最优控制规律, 便于实现闭环最优控制, 是应用广泛的最优控制方式。

线性系统状态方程及输出方程为

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (1)$$

$$y(t) = C(t)x(t) \quad (2)$$

式中 $x(t)$ 为 n 维状态向量; $u(t)$ 为 p 维控制向量; $y(t)$ 为 q 维输出向量。设 $z(t)$ 为理想输出向量, 与 $y(t)$ 同维数, 并定义

$$e(t) = z(t) - y(t) \quad (3)$$

为误差向量。线性二次型最优控制问题的性能指标为

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{2} e^T(t_f) F e(t_f) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t) Q(t) e(t) \\ &\quad + u^T(t) R(t) u(t)] dt \end{aligned} \quad (4)$$

这里, 权函数 F 、 $Q(t)$ 为正半定矩阵, $R(t)$ 为正定矩阵。假设 t_f 固定。要求寻找最优控制 $u^*(t)$, 使性能指标 J 为最小。被积函数的第一项表明误差 $e(t)$ 的大小, 是非负的。其第二项表明控制功率的大小, 对应于 $u \neq 0$ 它恒为正。因此, 对 $u(t)$ 往往不需再加约束, 而常设 $u(t)$ 为自由的。性能指标的第一项则表示终值误差。

状态调节器问题 系统状态方程如式 (1) 所示, $u(t)$ 不受约束, t_f 固定, 性能指标为

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{2} x^T(t_f) F x(t_f) \\ &\quad + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [x^T(t) Q(t) x(t) + u^T(t) R(t) u(t)] dt \end{aligned} \quad (5)$$

寻找最优控制 $u^*(t)$, 使性能指标 J 为最小。

用极小值原理或动态规划法,可得下列矩阵黎卡提微分方程(一阶,非线性微分方程)

$$\dot{P}(t) = -P(t)A(t) - A^T(t)P(t) + P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)P(t) - Q(t) \quad (6)$$

其边界条件为

$$P(t_f) = F \quad (7)$$

由式(6)解出 $P(t)$ 后,可得最优控制规律为

$$u^*(t) = -R^{-1}(t)B^T(t)P(t)x^*(t) \quad (8)$$

由式(8)可以看出,最优控制规律是一个状态线性反馈规律,控制向量 $u^*(t)$ 由状态向量 $x^*(t)$ 生成,构成状态反馈,并且呈线性关系。这样,能方便地实现闭环最优控制,这一点在工程上具有十分重要的意义。

$P(t)$ 是一对称矩阵,一般都要由计算机求出方程(6)的数值解。 $P(t)$ 是时间函数,即使线性系统是定常的,为了实现最优控制,反馈增益应该是时变的,而不是常值反馈增益。这一点与经典控制方法的结论有本质的差别。

可以求得性能指标的最小值为

$$J^* = \frac{1}{2}x^T(t_0)P(t_0)x(t_0) \quad (9)$$

$t_f = \infty$ 时的状态调节器问题 定常系统方程为

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (10)$$

这里, A 、 B 为常值矩阵, $u(t)$ 不受约束,性能指标为

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{\infty} [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \quad (11)$$

Q 、 R 为常值矩阵, Q 为正半定的, R 为正定的。求最优控制 $u^*(t)$,使性能指标 J 为最小。

对于这样的系统,有 $\dot{P}(t) = 0$ 情况下的矩阵黎卡提方程

$$PA + A^TP - PBR^{-1}B^TP + Q = 0 \quad (12)$$

上式是矩阵黎卡提代数方程,它是非线性方程。求解该方程,可得最优控制为

$$u^*(t) = -R^{-1}B^TPx^*(t) \quad (13)$$

性能指标的最小值也由式(9)求得。

输出调节器问题 系统动态方程为式(1)、(2), $u(t)$ 不受约束, t_f 固定,性能指标为

$$J = \frac{1}{2}y^T(t_f)Fy(t_f) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [y^T(t)Q(t)y(t) + u^T(t)R(t)u(t)]dt \quad (14)$$

式中 F 和 $Q(t)$ 为正半定矩阵; $R(t)$ 为正定矩阵。求最优控制 $u^*(t)$,使性能指标 J 为最小。

可将这类问题转化成等效的状态调节器问题,得:

当且仅当系统完全可观测时,存在唯一的最优控制

$$u^*(t) = -R^{-1}(t)B^T(t)P(t)x^*(t) \quad (15)$$

其中, $P(t)$ 满足下列矩阵黎卡提方程

$$\begin{aligned} \dot{P}(t) = & -P(t)A(t) - A^T(t)P(t) \\ & + P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)P(t) \\ & - C^T(t)Q(t)C(t) \end{aligned} \quad (16)$$

$$P(t_f) = C^T(t_f)FC(t_f) \quad (17)$$

输出调节器的最优控制规律,并不是输出量 $y(t)$ 的线性反馈,而仍是状态 $x(t)$ 的线性反馈。仅由输出反馈时,没有充分利用全部信息,不能构成最优控制。

完全可控、可观测的定常系统, $t_f = \infty$ 时的输出调节器问题,其最优控制存在并且是唯一的

$$u^*(t) = -R^{-1}B^TPx^*(t) \quad (18)$$

P 为下列矩阵黎卡提代数方程的解

$$-PA - A^TP + PBR^{-1}B^TP - C^TQC = 0 \quad (19)$$

跟踪问题 系统动态方程为式(1)、(2), $x(t_0) = x_0$,系统完全可观测,理想输出为 $z(t)$,误差向量为式(3),性能指标为式(4), $u(t)$ 不受约束, t_f 固定,求最优控制 $u^*(t)$,使性能指标 J 为最小。

用极小值原理来求解,并设

$$\lambda^*(t) = P(t)x^*(t) - g(t) \quad (20)$$

可写出形如式(16)的黎卡提方程以及下式

$$\begin{aligned} g(t) = & -[A^T(t) - P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)]g(t) \\ & - C^T(t)Q(t)z(t) \end{aligned} \quad (21)$$

其边界条件为

$$P(t_f) = C^T(t_f)FC(t_f) \quad (22)$$

$$g(t_f) = C^T(t_f)Fz(t_f) \quad (23)$$

从而得最优控制规律

$$u^*(t) = -R^{-1}(t)B^T(t)[P(t)x^*(t) - g(t)] \quad (24)$$

对于线性定常系统,当理想输出 $z(t)$ 为常值、终端时刻 t_f 极大但不为无穷大时,可以导出一个近似的最优控制规律如下,它具有很大的实用意义。

设系统状态方程如式(10)所示, $x(t_0) = x_0$,输出方程 $y(t) = Cx(t)$,系统完全可控并完全可观测,理想输出 $z(t) = z_0$, t_f 足够大,性能指标为

$$\begin{aligned} J = & \frac{1}{2}[z_0 - y(t_f)]^TF[z_0 - y(t_f)] \\ & + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} \{ [z_0 - y(t)]^TQ[z_0 - y(t)] \\ & + u^T(t)Ru(t) \} dt \end{aligned} \quad (25)$$

则其最优控制存在并唯一,为

$$u^*(t) = -R^{-1}B^TPx^*(t) + R^{-1}B^Tg \quad (26)$$

其中 P 和 g 依次满足下列两式

$$-PA - A^TP + PBR^{-1}B^TP - C^TQC = 0 \quad (27)$$

$$g = [PBR^{-1}B^T - A^T]^{-1}C^TQz_0 \quad (28)$$

(于 渤)

线性控制系统 (linear control system)

状态变量和输出变量对于所有可能的输入变量和初始状态都满足叠加原理的系统。叠加原理是指,如果系统相应于两种输入和初始状态 (u_1, x_1^0) 和 (u_2, x_2^0) 时的状态和输出分别为 (x_1, Y_1) 和 (x_2, Y_2) , 则当输入和初始状态为 $(a_1 u_1 + a_2 u_2, a_1 x_1^0 + a_2 x_2^0)$ 时, 系统的状态和输出必为 $(a_1 x_1 + a_2 x_2, a_1 Y_1 + a_2 Y_2)$, 这里 x_1, x_2 表示状态, x_1^0, x_2^0 表示初始状态, u_1, u_2 表示输入, Y_1, Y_2 表示输出, a_1, a_2 为任意实数。

由定常(参数不随时间变化, 亦称非时变)集中参数元件组成的, 可以用线性常系数微分方程(或差分方程)描述的系统, 称为连续型(或离散型)线性定常系统。如果描述线性系统的微分方程(或差分方程)的系数是时间的函数, 则称为线性时变系统。

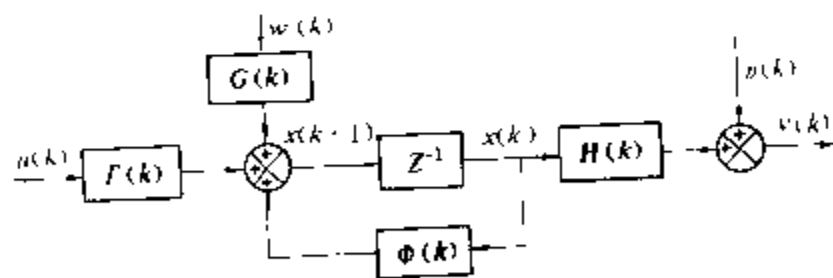
严格地说, 物理系统总存在着不同程度的非线性。线性系统是用线性方程描述的, 数学处理简单, 已形成了相当成熟的线性控制理论。因此, 对于一个实际的系统, 在满足工程实用要求的前提下, 总是尽可能将其线性化, 然后用线性控制理论进行分析。

(钱源平)

线性最小方差估计 (linear minimum variance estimation)

以估计误差的方差阵最小作为估计准则, 并限定估计是测量的线性函数的估计。对线性最小方差估计, 只要知道估计和测量的数学期望 $E[X], E[Y]$, 方差 $\text{Var}X, \text{Var}Y$ 及协方差 $\text{Cov}(X, Y)$ 等统计特性, 不需要知道 X 和 Y 的联合概率分布密度。这样, 使计算量大为减少。由于这种方法比较简单, 故获得比较广泛的应用。

在随机干扰作用下的离散系统的状态空间模型, 如图所示。



动态系统的状态空间模型

系统的状态方程和输出方程分别为

$$x(k+1) = \Phi(k)x(k) + \Gamma(k)u(k) + G(k)w(k) \quad (1)$$

$$y(k) = H(k)x(k) + v(k) \quad (2)$$

式中 $u(k)$ 为系统的非随机控制输入, $w(k)$ 和 $v(k)$ 分别为模型噪声和量测噪声, 它们的最基本类型为零均值

的正态白噪声序列。

假定 $\{x(k)\}, \{y(k)\}$ 是两个多维随机向量序列, 其中 $\{x(k)\}$ 表示系统的未知状态, $\{y(k)\}$ 表示系统的输出观测值。已知 x 和 y 的统计特性 $E[X], E[Y], \text{Var}X, \text{Var}Y, \text{Cov}(X, Y)$ 和 $\text{Cov}(Y, X)$ 。假定 X 的估计 \hat{X} 是 Y 的线性函数, 即

$$\hat{X}(Y) = b + AY \quad (3)$$

式中 b 为 n 维非随机常数向量, A 为 $n \times q$ 维非随机常数矩阵。

估计误差的方差阵为

$$J = E\{[X - b - AY][X - b - AY]^T\} \quad (4)$$

可以求得系统状态的估计为

$$\hat{X} = E[X] + \text{Cov}(X, Y)(\text{Var}Y)^{-1}[Y - E(Y)] \quad (5)$$

对上式等号两边取数学期望, 得

$$E[\hat{X}] = E[X] + \text{Cov}(X, Y)(\text{Var}Y)^{-1}E[Y - E(Y)] = E[X] \quad (6)$$

可见, 估计误差的数学期望为零向量, 即

$$E[X - \hat{X}] = 0 \quad (7)$$

所以, 线性最小方差估计是无偏估计。

参考书目

陈新海. 最佳估计理论. 北京: 北京航空学院出版社, 1987

(蒋静坪)

相对稳定性 (relative stability)

稳定的控制系统的稳定程度。一个控制系统能够正常工作, 首先应具有绝对稳定性, 即系统是稳定的, 同时还必须具备适当的相对稳定性, 要有稳定性裕量。图1示开环频率特性为

$$G(j\omega)H(j\omega) = \frac{K(1+j\omega T_a)(1+j\omega T_b)\cdots}{(j\omega)^l(1+j\omega T_1)(1+j\omega T_2)\cdots}$$

的控制系统的极坐标图, 图中三条曲线对应于三个不同开环增益 K 值的情况。对应于大的 K 值, 系统是不稳定的; 当 K 值减小到一定值时, $G(j\omega)H(j\omega)$ 轨迹通过复平面上 $(-1, j0)$ 点, 系统处于从不稳定到稳定的临界情况; 对应于小的 K 值, 系统是稳定的。

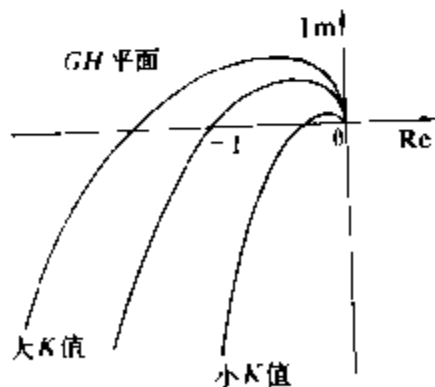


图1 控制系统极坐标图

开环频率特性 $G(j\omega)H(j\omega)$ 轨迹对复平面上 $(-1, j0)$ 点的靠近程度, 可以用未度量相对稳定性。通常以相位裕量和增益裕量未表示这种靠近的程度。图2表示稳定系统和不稳定

定系统在频率特性的极坐标图、对数坐标图和对数幅-相图中的相位裕量和增益裕量。

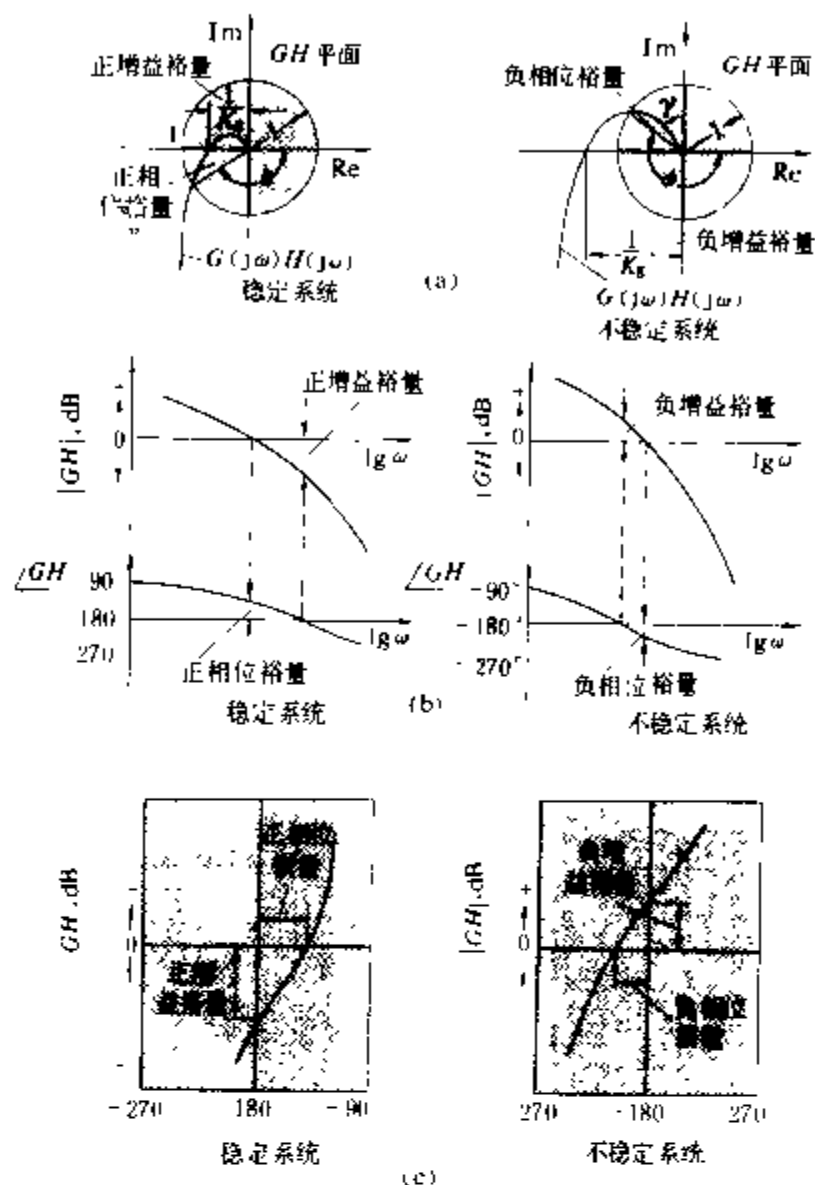


图2 相位裕量和增益裕量

(a) 极坐标图; (b) 对数坐标图; (c) 对数幅-相图

在增益交界频率上,使系统达到不稳定边缘所需要的附加相位滞后量,称为相位裕量。所谓增益交界频率,是指开环传递函数的模 $|G(j\omega)H(j\omega)|$ 等于1时的频率。为了使最小相位系统稳定,相位裕量必须为正值。

在相位交界频率上, $|G(j\omega)H(j\omega)|$ 的倒数称为增益裕量(以分贝表示)。所谓相位交界频率,是开环传递函数的相角等于 -180° 时的频率。对于稳定的最小相位系统而言,增益裕量指出了在变成不稳定的系统之前,增益能够增加多少;对于不稳定的系统而言,增益裕量指出了使系统稳定增益应当减小多少。

仅仅用增益裕量或仅仅用相位裕量,都不足以说明系统的相对稳定性,而必须同时用这两个量。对于最小相位系统,相位裕量应为 $30^\circ \sim 60^\circ$,增益裕量应大于 6 dB。

(钱源平)

xiangying

响应 (response) 系统在激励作用下所引起

的反应。例如独立电源(作为激励)作用于某个线性电路时,电路中其它元件的电流或电压是响应。独立电压源的电流和独立电流源的电压,也是响应。在线性自动控制系统里,在输入(作为激励)的作用下,输出和状态变量是响应。

(肖达川)

xiangdianliu

相电流 (phase currents) 三相电源或三相负荷每一相的电流。以三相电源为例,在星形接法时(设中性点为 N),其 A 相、B 相和 C 相的相电流分别为 i_{NA} 、 i_{NB} 、 i_{NC} ;三角形接法时,其 A 相、B 相和 C 相的相电流分别为 i_{BA} 、 i_{CB} 和 i_{AC} 。

(范丽娟)

xiangdianya

相电压 (phase voltages) 三相电源或三相负荷每一相两端的电压。在星形接法时(设中性点为 N)为相对中性点电压,其 A 相、B 相和 C 相的相电压分别为 \dot{U}_{AN} 、 \dot{U}_{BN} 、 \dot{U}_{CN} ;在三角形接法时为相与相之间电压,其 A 相、B 相和 C 相的相电压则分别为 \dot{U}_{AB} 、 \dot{U}_{BC} 和 \dot{U}_{CA} 。

(范丽娟)

xiangjiao celiang

相角测量 (phase angle measurement)

两个同频率正弦电参量初相角差值的测量。相角的单位为度或弧度,正负号表示超前或滞后关系。相角的测量方法有:相位表法、利萨如图形法和三电压表法等。

相位表法 直接使用专用的仪表如指针式相位表、数字相位表来测量相角。也可用功率因数表来测量同频率电压、电流间的相角差。

利萨如图形法 将两个同频率的正弦电压信号 U_X 、 U_Y 分别加到阴极射线示波器的 X 轴、Y 轴输入端,极据荧光屏上显示的利萨如图形来判断相角差。一般情况下,利萨如图形为椭圆(图 1),根据椭圆的最大 Y 坐标值 b 及其与 Y 轴交点的 Y 坐标值 a ,可得此两正弦电压之间的相角差 $\varphi = \arcsin(a/b)$ 。如椭圆的长轴在第 I、II 象限内,则 φ 在 $\pm(0 \sim \pi/2)$ 之间;如椭圆的长轴在第 III、IV 象限内,则 φ 在 $\pm(\pi/2 \sim \pi)$ 之间。此法的缺点是:不能判断两信号中的哪一个超前或滞后;当 φ 值较小时,因 b 值很小,一般较难测准。

三电压表法 使用三电压表法要求两电压信号有

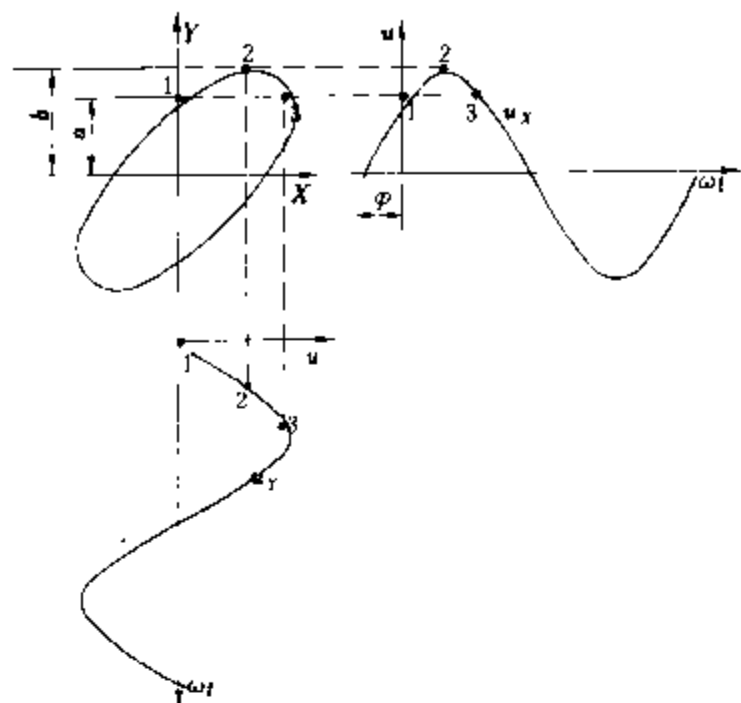


图1 利萨如图形法

公共点。图2中画出了两电压相量，公共点为A点，

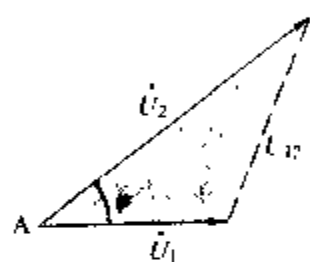


图2 三电压表法

相角差为 φ 。用三个电压表分别测量（或用一个电压表分别测量）此两信号电压 U_1 、 U_2 以及两电压的差值 U_{12} 。由测得的电压值，按公式 $\varphi = \arccos[(U_1^2 + U_2^2 - U_{12}^2) / (2U_1U_2)]$ ，可算得两信号电压间的相角差。对 φ 很小的情况，先将两电压中较大的一个分压，并使分压后两信号的电压数值相同（图3）。测量 $U_1 (=U_2)$ 及 U_{12} 值，

根据公式 $\varphi \approx U_{12}/U_1$ ，即可求得两电压信号间的相角差。

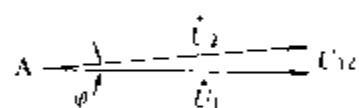


图3 小相角的测量

（谈克雄）

xiangliangfa

相量法 (phasor method) 以相量表示正弦量，用来分析正弦稳态电路的方法。1893年由美国学者C. P. 施泰因梅茨 (C. P. Steinmetz) 提出用相量代表正弦量后，正弦量的加、减、导数、积分等运算，转换为其相量间的代数运算，使描述正弦稳态电路的微分（积分）方程转换为复数的代数方程。因此相量法极大地简化了正弦稳态电路的分析。

正弦量的相量表示 设正弦电流 i 的函数表示为 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ ，其中 I_m 为电流 i 的幅值， ω 为其角频率， $(\omega t + \varphi)$ 为相位， φ 为其初相角。令 $j = \sqrt{-1}$ ，由数学中的欧拉公式

$$I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m \cos(\omega t + \varphi) + j I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

可知，正弦函数 i 就等于复函数 $I_m e^{j(\omega t + \varphi)}$ 的虚部，即

$$i = \text{Im}[I_m e^{j(\omega t + \varphi)}] = \text{Im}[I_m e^{j\varphi} e^{j\omega t}]$$

式中“Im”表示取虚部， $I_m e^{j\varphi}$ 是常复数，记 $\dot{I}_m = I_m e^{j\varphi} = I_m / \varphi$ ，称为正弦量 i 的相量。相量 \dot{I}_m 的模 I_m 代表正弦量的模，辐角 φ 代表正弦量的初相角。记 i 的有效值为 I 。电力工程中常将正弦量的相量的模用有效值表示，记 $\dot{I} = I e^{j\varphi} = I / \varphi$ 。正弦量与它的相量是一一对应的。

相量可在复数平面上用一矢量来表示，其长度为 I_m ，由实轴起算的辐角为 φ （见图1）。复函数 $I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = \dot{I}_m e^{j\omega t}$ ，在复数平面中可表示为由初始位置 \dot{I}_m 开始，以角速度 ω 逆时针方向旋转的矢量，称为旋转相量。在任一时刻 t ，旋转相量的辐角就是 $(\omega t + \varphi)$ ，它在虚轴上的分量就等于该正弦电流的瞬时值。这也是 $i = \text{Im}[I_m e^{j(\omega t + \varphi)}] = \text{Im}[\dot{I}_m e^{j\omega t}]$ 的几何含意。

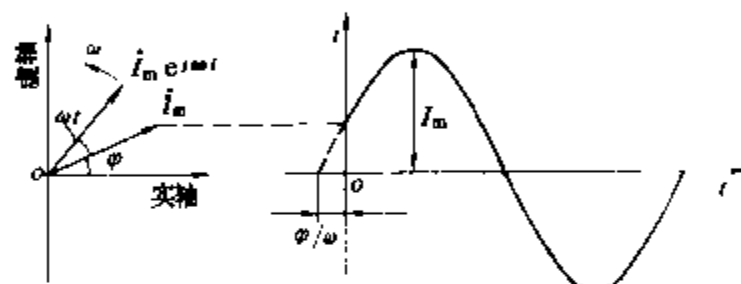


图1 正弦量的相量表示

电路方程的相量形式 在正弦稳态电路中，各电流、电压都是同频率的正弦量。由于它们对应的旋转相量，都以相同的角频率在复平面上旋转，其相对位置保持不变，所以只需考虑位于初始位置的相量。用相量表示正弦量的优点是：多个同频率正弦量的代数转换转换为对应相量的代数和；正弦量对时间的导数（或积分）

转换为对应的相量与 $j\omega$ （或 $\frac{1}{j\omega}$ ）的乘积，由此可得出

系统化的求解电路的解析计算方法，还可以容易地把电路中互相有关的电压和电流的相量画在同一复平面上，直观地表示它们所代表的各个正弦量的相对大小和相位关系。这种图形称为相量图。

基尔霍夫定律的相量形式 利用相量，可将基尔霍夫两条定律的瞬时值表达式 $\sum i = 0$ (KCL) 和 $\sum u = 0$ (KVL) 转换为相量（复数）表达的形式，即

$$\sum \dot{I} = 0, \sum \dot{U} = 0$$

上式可称为基尔霍夫定律的相量形式。

电阻、电感、电容元件约束关系的相量形式 电阻、电感和电容的电压电流的相量关系如表1所示。

阻抗与导纳 在正弦稳态下，线性非时变二端电路的电压和电流具有相同的频率，其相互关系可通过下述参数表示。

阻抗 Z 电压相量 \dot{U} 和电流相量 \dot{I} 之比

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = z / \theta = R + jX$$

表1 R、L、C的约束关系

符号与参考方向	瞬时值关系式	相量关系式	相量图	说明
	$u_R = Ri_R$	$\dot{U}_R = R \dot{I}_R$		$U_R = RI_R$ \dot{U}_R 与 \dot{I}_R 同相
	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$	$\dot{U}_L = j\omega L \dot{I}_L$		$U_L = \omega L I_L$ \dot{U}_L 领先 $\dot{I}_L 90^\circ$
	$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$	$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \dot{I}_C$		$U_C = \frac{1}{\omega C} I_C$ \dot{U}_C 滞后 $\dot{I}_C 90^\circ$

是一具有电阻量纲的复数,称为该二端电路的复数阻抗,简称阻抗。复数阻抗的实部称为电阻,虚部称为电抗。上式也称为欧姆定律的相量形式。上式表明,阻抗 Z 可写成极坐标形式和直角坐标形式,其中:

阻抗模 $z = U/I$, 反映电压、电流大小之比;

阻抗角 θ 代表电压领先于电流的相位角;

电阻 $R = z \cos \theta$

电抗 $X = z \sin \theta$

上述参数之间的数量关系可用图2(a)中的阻抗三角形表示。

导纳 Y 电流相量 \dot{I} 和电压相量 \dot{U} 之比

$$Y = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = y \angle \theta' = G + jB$$

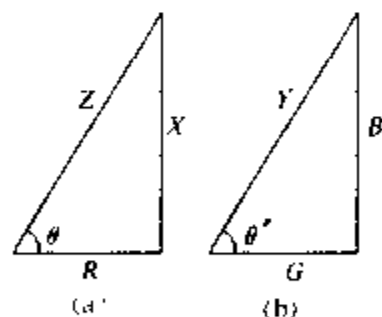


图2 阻抗和导纳三角形

(a) 阻抗三角形;

(b) 导纳三角形

是一具有电导量纲的复数,称为该二端电路的复数导纳,简称导纳。复数导纳的实部称为电导,虚部称为电纳。显然 $Y = 1/Z$ 。同样可定义:

导纳模 $y = I/U$ 反

映电流、电压大小之比;

导纳角 θ' 代表电流

领先电压的相位角;

电导 $G = y \cos \theta'$

电纳 $B = y \sin \theta'$

上述参数间的数量关系可用图2(b)中的导纳三角形表示。电阻元件、电感元件和电容元件都可分别作为阻抗元件和导纳元件的特例,表2中列出它们相应的参数。

正弦交流电路的计算

基尔霍夫定律和欧姆定律的相量形式和电阻电路中所用的对应公式在形式上相似。因此,在线性非时变电路中,计算电阻电路的各种方法、原理和定理也完全适用于计算交流稳态电路,其差别仅在于,此时电压、电流采用相量形式,而支路参数则用复数阻抗 Z 或导纳 Y 表示。例如,阻抗元件 Z_1, Z_2, Z_3 相串联时,其等效阻抗 $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$, 而导纳元件 Y_1, Y_2, Y_3 相并联时,其等效导

纳 $Y = Y_1 + Y_2 + Y_3$ 。为了方便,有时在电路图中,电压、电流直接以相量来标注,电路参数直接以复数阻抗来标注。

以 R, L, C 串联电路为例 [图3(a)]:

$$Z = R + jX_L + jX_C = R + j(X_L + X_C)$$

$$= R + jX = z \angle \theta$$

$$X = X_L + X_C, z = \sqrt{R^2 + X^2}, \theta = \arctg(X/R)$$

电压、电流关系为

$$\dot{U} = Z\dot{I} = (z \angle \theta) \dot{I} = (\sqrt{R^2 + X^2} \angle \theta) \dot{I}$$

表2 R、L、C元件的阻抗和导纳

元件	阻抗 Z	电阻 R	电抗 X	导纳 Y	电导 G	电纳 B
R	R	R	0	$1/R$	$1/R$	0
L	$j\omega L$	0	$X_L = \omega L$	$-j \frac{1}{\omega L}$	0	$B_L = -\frac{1}{\omega L}$
C	$-j \frac{1}{\omega C}$	0	$X_C = -\frac{1}{\omega C}$	$j\omega C$	0	$B_C = \omega C$

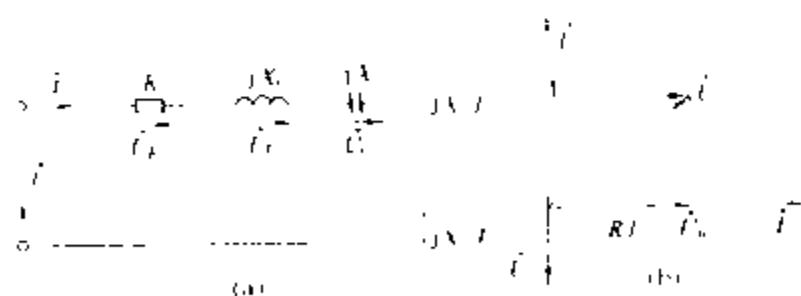


图3 R、L、C串联电路及其相量图

(a) 电路图; (b) 相量图

电路中各电压、电流的相量图如图3(b)所示。

(陈允康)

xiangliangtu

相量图 (phasor diagram) 见相量法。

xiangpingmianfa

相平面图法 (phase plane method) 对二阶控制系统, 在以变量 $x_1 = x$ 及其一阶导数 $x_2 = \dot{x}$ 为坐标轴的相平面上, 研究系统的运动轨迹的图解方法。当系统的非线性程度高, 不能只考虑基波分量时, 或者需要研究系统在各种初始状态下的运动状态时, 使用相平面法较为方便。

一个二阶控制系统可以用下述常微分方程描述

$$\ddot{x} + f(x, \dot{x}) = 0$$

式中 $\dot{x} = \frac{dx}{dt}$; $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$; $f(x, \dot{x})$ 为 x 和 \dot{x} 的线性函数或非线性函数。二阶控制系统又可以用下列一阶微分方程组表示

$$\frac{dx_1}{dt} = f_1(x_1, x_2), \frac{dx_2}{dt} = f_2(x_1, x_2)$$

式中 f_1 和 f_2 分别为变量 x_1 和 x_2 的线性函数或非线性函数。

若取 $x_1 = x$, $x_2 = \dot{x}$, 则相平面就是 $x-\dot{x}$ 平面。

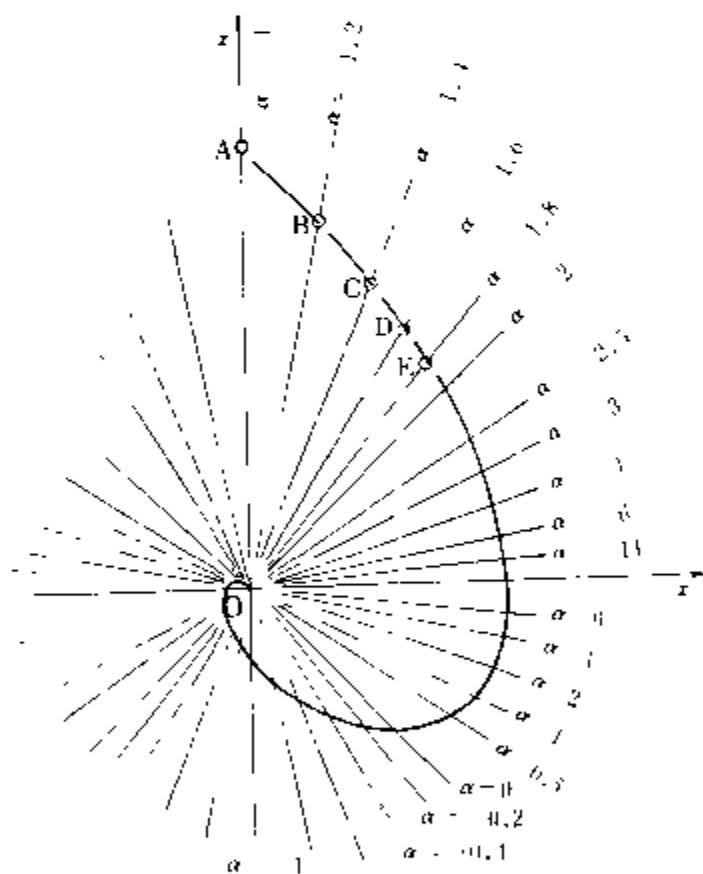


图1 系统 $\ddot{x} + \dot{x} + x = 0$ 的相平面图

相轨迹作图方法如下。例如系统的方程为 $\ddot{x} + \dot{x} + x = 0$, 图1示其一条相轨迹 ABCDE...O, 其起始点为 A。对应于另外的起始点, 有另外的相轨迹。从一阶微分方程组消去变量 t , 得 $\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{f_2(x_1, x_2)}{f_1(x_1, x_2)}$, 这个关于 x_2 和 x_1 的微分方程, 给出了相轨迹上点 (x_1, x_2) 处切线的斜率。多条相轨迹的等斜率点的连线, 叫做等倾

线, 以 $\alpha = \text{常量}$ 表示。在图1上, 在等倾线 $\alpha = -1$ 和 $\alpha = -1.2$ 之间, 相轨迹的平均斜率为 -1.1 , 从点 A 画斜率为 -1.1 的直线与等倾线 $\alpha = -1.2$ 相交于点 B, 则直线段 AB 就近似地为相轨迹的一部分。再从点 B 画斜率为 -1.3 的直线, 与等倾线 $\alpha = -1.4$ 相交于点 C。这样依次逐段作图, 得曲线 ABCDE...O, 这就是所求的相轨迹。这种作图方法称为等倾线法。

在相平面上, 同时有 $f_1(x_1, x_2) = 0$ 和 $f_2(x_1, x_2) = 0$ 的点 (x_1, x_2) 称为奇点, 也称平衡点。相平面上奇点以外的任何其它点则称为普通点。

设原点是奇点, 则 $f_1(0, 0) = 0$, $f_2(0, 0) = 0$ 。将 f_1 和 f_2 在原点附近展开成泰勒级数, 忽略二次方及更高次方的项, 有 $dx_1/dt = a_1x_1 + b_1x_2$, $dx_2/dt = a_2x_1 + b_2x_2$ 。令 $x = x_1$, $x_2 = \frac{1}{b_1}(-a_1x + \dot{x})$, 则有 $\dot{x} + ax + bx = 0$, 式中 $a = -a_1 - b_2$, $b = a_1b_2 - a_2b_1$ 。上一方程的解的性质, 取决于特征方程 $\lambda^2 + a\lambda + b = 0$ 的两个根 λ_1 和 λ_2 , 这里 a 和 b 为常量, $b \neq 0$ 。奇点有以下六种情况 (见图2):

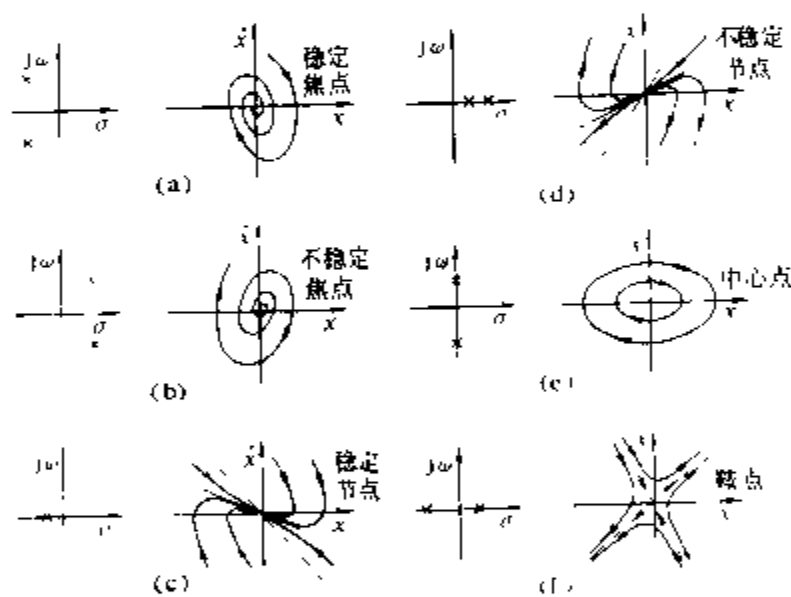


图2 奇点

- (a) 稳定焦点; (b) 不稳定焦点; (c) 稳定节点;
(d) 不稳定节点; (e) 中心点; (f) 鞍点

(1) λ_1 和 λ_2 为共轭复数, 位于左半平面, 奇点为稳定焦点。

(2) λ_1 和 λ_2 为共轭复数, 位于右半平面, 奇点为不稳定焦点。

(3) λ_1 和 λ_2 为实数, 位于左半平面, 奇点为稳定节点。

(4) λ_1 和 λ_2 为实数, 位于右半平面, 奇点为不稳定节点。

(5) λ_1 和 λ_2 为共轭复数, 位于 $j\omega$ 轴上, 奇点为中心点。

(6) λ_1 和 λ_2 为实数, 左半平面和右半平面各有一个, 奇点为鞍点。

在相平面图上,可能有极限环。

本条中表述二阶系统的一阶微分方程组的孤立的周期解称为这一方程组的极限环。极限环在相平面中具有特殊的几何图形,是一个孤立的封闭轨迹。极限环表示稳态振荡。极限环将相平面分隔成内部平面和外部平面,极限环内部的相轨迹,不能穿过极限环面进入它的外部,反之亦然。

图3示极限环和典型的 $x-t$ 曲线。若起始于极限环外部或内部的(在极限环附近的)相轨迹都盘旋逼近

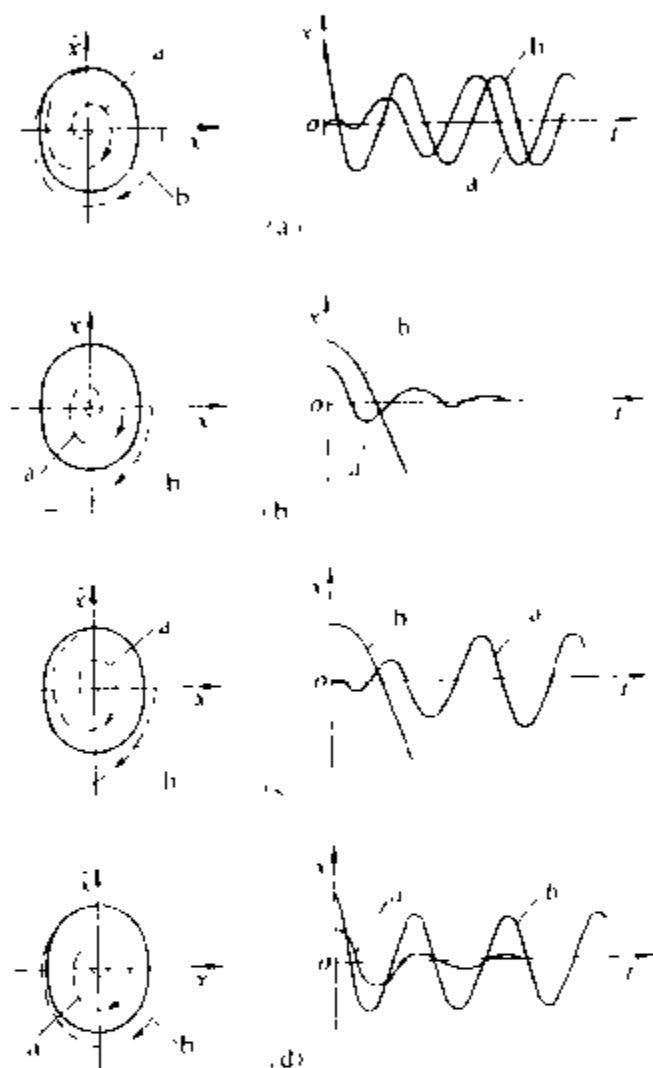


图3 极限环和典型的 $x-t$ 曲线
(a) 稳定极限环; (b) 不稳定极限环;
(c), (d) 半稳定极限环

于该极限环,则称为稳定极限环,在这种情况下,系统表现为等幅持续振荡,如图3(a)所示。若极限环附近的相轨迹是从极限环发散出去的,则该极限环称为不稳定极限环,如图3(b)所示。若起始于极限环外部各点的(在极限环附近的)相轨迹,从极限环发散出去,而起始于极限环内部各点的相轨迹盘旋逼近于极限环,如图3(c)所示,或者相反,如图3(d)所示,则称为半稳定极限环。

举一个应用相平面法分析非线性系统的例子。系统的方程为 $\ddot{x} + 0.5\dot{x} + 2x + x^2 = 0$, 奇点为 $x=0, \dot{x}=0$ 和 $x=-2, \dot{x}=0$, 这是因为 $\frac{d\dot{x}}{dx} = \frac{d\dot{x}/dt}{dx/dt} = \frac{\dot{x}}{x} = \frac{-0.5\dot{x} - 2x - x^2}{\dot{x}}$ 。

在奇点 $(0, 0)$ 附近,系统的方程可线性化为 $\ddot{x} +$

$0.5\dot{x} + 2x = 0$, 特征方程为 $\lambda^2 + 0.5\lambda + 2 = 0$, 特征方程的根为 $-0.25 \pm j1.39$, 因此原点是稳定焦点。

在奇点 $(-2, 0)$ 附近,系统的方程可改写,令 $y = x + 2$, 得 $\ddot{y} + 0.5\dot{y} - 2y + y^2 = 0$, 在 $y=0, \dot{y}=0$ (即 $x=-2, \dot{x}=0$) 这一点附近,系统的方程经线性化变为 $\ddot{y} + 0.5\dot{y} - 2y = 0$, 其特征方程为 $\mu^2 - 0.5\mu - 2 = 0$, 特征方程的根为 1.19 和 -1.69 , 因而奇点 $(-2, 0)$ 是鞍点。

用等倾线法,可以作出相平面图,如图4所示。穿过鞍点 $(-2, 0)$ 的画有阴影线的相轨迹是分隔线。它将相平面划分为两个区:若初始点在阴影线范围内,相轨迹将盘旋逼近于原点;若在阴影线范围以外,相轨迹将趋于无穷远,不能稳定工作。

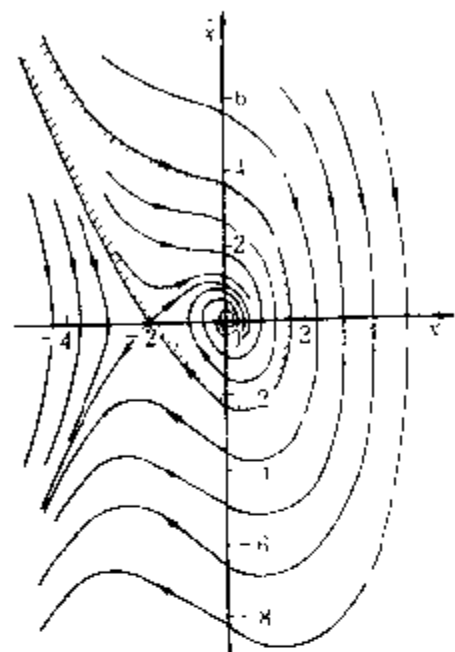


图4 系统 $\ddot{x} + 0.5\dot{x} + 2x + x^2 = 0$ 的相平面图

再举一个相轨迹图中有极限环的例子。这是 $\epsilon=1$

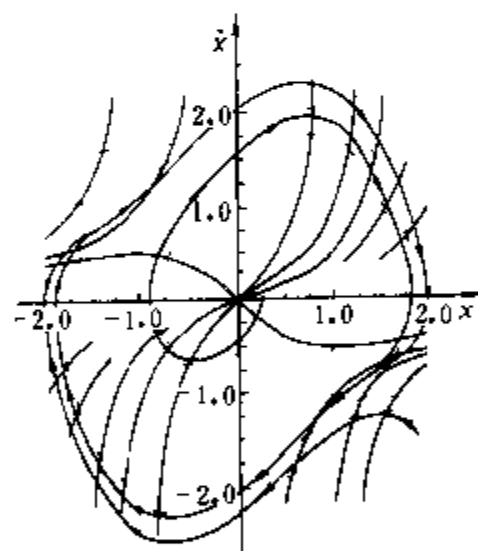


图5 凡·德尔·玻尔方程 $\ddot{x} - \epsilon(1-x^2)\dot{x} + x = 0$ 的相平面图

情况下的凡·德尔·玻尔 (Van der Pol) 方程 $\ddot{x} - \epsilon(1-x^2)\dot{x} + x = 0$. $\frac{d\dot{x}}{dx} = \frac{d\dot{x}/dt}{dx/dt} = \frac{\dot{x}}{x} = \frac{(1-x^2)\dot{x} - x}{\dot{x}} = (1-x^2) - \frac{x}{\dot{x}}$, 等倾线的方程为 $a = (1-x^2) - \frac{x}{\dot{x}}$, 等倾

迹图如图5所示。

图上有极限环,相轨迹从里面或外面盘旋逼近这个稳定极限环。这个稳定极限环表征着持续的自激振荡。

(童建中 于 渤)

xiangwei

相位 (phase)

见正弦电流。

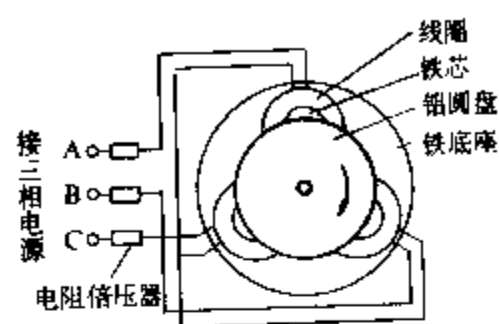
xiangxu zhishi qi

相序指示器 (phase sequence indicator)

指示三相正弦交流电源中,各相电压或电流达到最

大值先后顺序的仪表。

相序指示器有感应式、移相式等多种。感应式的结构和接线如图所示。三个带铁芯的线圈相隔 120° 固定在铁底座上, 连接成星形电路。当通入三相电流时产生



旋转磁场, 推动铝圆盘旋转。圆盘旋转方向与其上箭头所指的方向相同时, 表示为正或顺相序, 即次序是 A—B—C; 反向旋

感应式相序指示器的结构和接线相序, 即次序是 C—B—A。

(郑英华)

xiangjiao

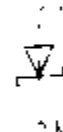
橡胶 (rubber) 一种具有良好伸长率、弹性和韧性的物质。橡胶分天然橡胶和合成橡胶两大类。天然橡胶的来源是橡胶树和橡胶草, 其主要成分是顺式-1,4 聚异戊二烯, 属于非极性橡胶。合成橡胶大多由单体经聚合反应合成, 原材料易得, 可大规模生产, 其产量比天然橡胶高许多倍。合或橡胶按极性可分为两大类: ①非极性合成橡胶, 主要有丁苯 (单体是丁二烯和苯乙烯)、丁基 (单体是异丁烯和异戊二烯)、乙丙 (单体是乙烯和丙烯)、三元乙丙 (单体是乙烯、丙烯和双环戊二烯)、顺丁 (单体是丁二烯)、异戊 (单体是异戊二烯) 等橡胶和硅橡胶。②极性合或橡胶。有氯丁 (单体是 2-氯-1,3-丁二烯)、丁腈 (单体是丁二烯和丙烯腈)、氯磺化聚乙烯 (用聚乙烯和 Cl_2 、 SO_2 合成)、氯化聚醚 (用聚乙烯和 Cl_2 合或)、氯醚等橡胶和氟橡胶、聚氨酯橡胶等。非极性橡胶主要用作电线电缆绝缘, 极性橡胶主要用于电缆护套。橡胶在电线电缆工业中应用广泛, 如用于制作软线、照明线、矿用电缆、油井电缆、X 光电缆、地质勘探电缆、船用电缆和航空电线等。用于不同电缆时, 对橡胶性能要求也有一定差异。硅橡胶还可以用作电机绝缘和电器、电子元件的整体封装材料。橡胶的膜压制品、橡胶带和热收缩管等在电工中亦广泛应用。多数橡胶因性能一般, 应用面广而称通用橡胶, 如丁苯橡胶、顺丁橡胶、天然橡胶等。合成橡胶中具有某些优异性能 (如耐油性、耐化学性、耐热性、耐寒性、耐透气性、耐磨性等) 的, 称为特种橡胶, 如硅橡胶、氟橡胶、氯醚橡胶、丁腈橡胶、聚氨酯橡胶等。除热塑性橡胶以外的大部分橡胶制品都是指已“硫化” (交联) 的橡胶 (又称橡皮)。凡是由橡胶乳加工得到的干胶和合成橡胶厂生产的各种合成橡胶统称为生胶。大多数生胶

受热易变软发粘, 机械强度低, 需经硫化处理后才有实用价值。硫化是指生胶与硫化剂及其它配合剂均匀地混合后, 在一定温度和压力下使原来线形橡胶分子变成网状分子的过程。为了改善橡胶性能, 在硫化之前必须加入其它配合剂, 如促进剂、防老剂、补强剂、硫化剂、增塑剂 (或软化剂)、填料等, 然后在温压机上进行混炼。热塑性橡胶是在常温下呈现出和硫化橡胶类似的特性而不需硫化的橡胶。商品热塑性橡胶有聚氨酯橡胶、乙烯-丙烯共聚物、苯乙烯-丁二烯共聚物等。热塑性橡胶的优点是具有热塑性, 只要将它加热到熔点以上, 即可用挤出法或模压法等加工成型, 主要用于制作绝缘衬垫等。热塑性聚氨酯还可以用作封装料和紧缩套等。

(刘桂云)

xiaoteji erjiguan

肖特基二极管 (Schottky diode) 由具有整流作用的金属-半导体结组成的二极管。当肖特基二极管处于正向偏置时, 其载流子流向金属边, 使多数载流子仍保持在大子金属中的费米能量的某种能级上, 这就产生所谓热载流子, 故又称其为热载流子二极管。



它的特点是存储电荷效应极微, 所以开关时间很短, 为皮秒 (ps) 数量级。另一特点是门坎电压小, 仅 0.3V 左右。

肖特基二极管常用作检波器, 取其低噪声和较好的转换效率等优点, 因而它具有较高的整体检测灵敏度。在数字集成电路中, 它的符号常与半导体三极管制造在一起, 形成肖特基三极管, 从而提高开关速度。图示是肖特基二极管的图形符号。

(康华光)

xiaoxing jisuanji

小型计算机 (minicomputer) 一种与大型计算机相比, 字长较短、速度较低、系统规模较小的计算机。小型计算机广泛用于科学计算、事务处理和过程控制等领域。

早期的计算机受器件的限制, 都系统庞大, 价格昂贵, 一般用户难以承受。20 世纪 60 年代中, 美国 DEC 公司首先推出 12 位字长的 PDP-8 型小型计算机。70 年代初又推出的 16 位字长的 PDP-11 和 NOVA 系列机曾风行一时, 或为主流机种。80 年代初推出的小型计算机, 字长是 32 位, 性能价格比高, 目标是向上增强性能, 争夺大型计算机市场。小型计算机制造厂美国有 IBM、DEC、UNISYS、HP、王安等。中国先后推出 DJS-100、200 系列和 DJS-1000、2000 系列小

型计算机。

90年代初超级小型计算机的处理能力和配置大致如下：字长和数据通道宽度至少32位；主存几十~几百兆字节；处理速度几~数百个MIPS；支持2GB~数百GB磁盘容量；连接32到512个终端用户。

小型计算机采用标准化的硬件和软件结构，向开放系统发展；在系统结构上采用高速缓冲存储器、流水线技术提高处理机速度；采用多处理机并行处理技术和容错技术；向UNIX操作系统靠拢，提供系统软件和支援软件的兼容性；支持IEEE802局域网和FDDI高速光纤网标准的网络适配器。

小型计算机已用于较大型的科学、工程计算，企业、事业的较大型的综合管理信息系统，计算机辅助设计，计算机网络的网控中心等。

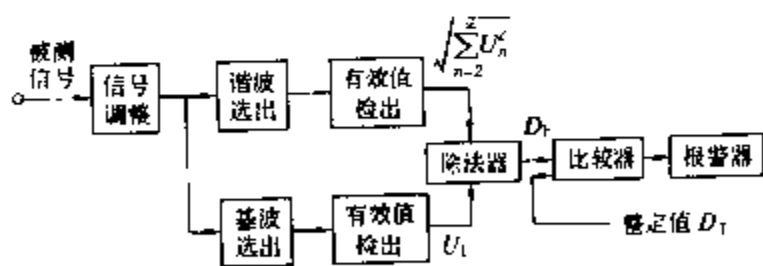
(张德馨 张厥标)

xiebo baojingqi

谐波报警器 (harmonic alarm) 监视谐波电压总有效值或电压波形畸变率是否越限的简易仪器。谐波报警器通常安装在电网谐波监测点处，采用声音、灯光或色牌掉落的方式来指示被测点上的波形畸变率是否超过预置的板限值，以帮助工作人员判定哪些地方警要进一步对谐波进行测量和分析。

图示为谐波报警器的框图。被测信号来自电压互感器的二次侧，进入信号调整电路，然后通过基波选出电路选出基波分量，并通过高通滤波器选出除基波以外的总高次谐波分量。被选出的基波分量和总高次谐波分量分别通过各自的有效值转换器，把交流信号转换成相应的直流信号，由除法器求出比值，即得电压

波形畸变率为 $D_F = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$ 。在比较器中，将 D_F 与波形畸变率的预整定值 D_E 比较，若 D_F 超过 D_E ，则比较器的输出驱动报警器，给出报警信号。



谐波报警器框图

谐波报警器利用选频式测量原理，结构简单，使用方便，价格低廉；因输入为差动方式，故抗干扰能力强。在使用由电压互感器传送的信号时，电压互感器二次侧的中性点应该接地；对于中性点不接地的电压互感器，应采用人工中性点网络，把电压互感器所提供的线

电压信号转变为相电压信号之后，再输入仪器。当电压波形畸变率超过预整定值并达到一定的时间间隔后，报警器才开始动作。借助于面板上的控制手柄，该时间间隔是可调的，同时还设有报警次数计数器，可累计报警的次数。

(许 退)

xiebo dianliu

谐波电流 (harmonic current) 将非正弦周期性电流函数按傅里叶级数展开时，其频率为原周期电流频率整数倍的各正弦分量的统称。频率等于原周期电流频率 k 倍的谐波电流称为 k 次谐波电流，序数大于1的各谐波电流也统称为高次谐波电流。

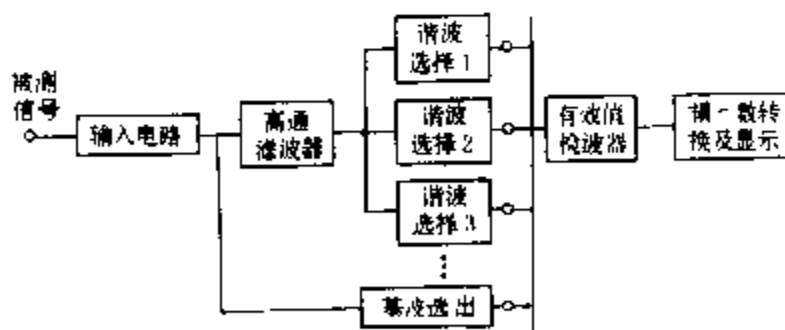
见非正弦周期电流电路。

(陈允康)

xie bodianliubiao

谐波电流表 (harmonic current meter) 测量电路中各次谐波电流值的电表。它通常安装在电力线路中的各谐波监测点处。电表设有输入信号通道选择，可在同一监测点处监测多路电流信号，直接读出基波及15次以下的各次谐波电流分量的有效值，测量结果以数字显示；还有BCD码输出，便于与巡检系统连接，实现自动记录。谐波电流表具有较强的抗干扰能力和较高的测量准确度，为电力系统的谐波管理和监督提供谐波电值数据。

图示为谐波电流表框图。被测信号取自测量用电流互感器的二次侧，经过输入电路调整后，基波分量由基波选出电路选出，高次谐波分量通过高通滤波器后，进入并接的各次谐波选择电路。各个谐波选择电路分别调谐于该次谐波频率上，并具有一定的带宽。被选出的各次谐波分量分别进入有效值检波器，以得到各个谐波电流的有效值，经模-数转换后用发光二极管或模拟指示器显示结果。



谐波电流表框图

谐波电流表可连续监测，也可随时测量。在接入电流信号取样分流器时，应绝对防止电流互感器二次侧开路。

(邓泰林 许 退)

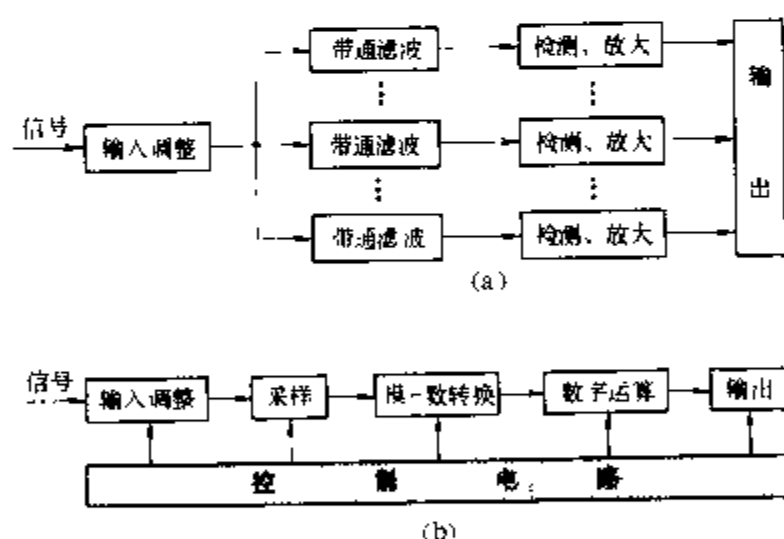
谐波分析仪 (harmonic analyzer) 测量

非正弦电压、电流波中各次谐波的幅值、相角以及有功、无功功率等参量的仪器。

与频谱分析仪不同,测量是参照被测信号的基波频率进行的,结果给出感兴趣的频率范围内(一般是50~2000 Hz)的信号频谱的一些特定的谱线(即信号基波频率为50 Hz,谐波频谱仪在频率为50 Hz的整数倍处有谱线)。

谐波分析仪分为模拟式与数字式两种。

模拟式谐波分析仪 用模拟滤波方法来分离和测量被测信号的各个谐波频率分量的仪表。可分为每次只测一个特定的谐波分量和一次同时可测量多个谐波分量两类。图(a)给出了一次同时可测量多个谐波分量的谐波分析仪原理框图。被测电压或电流信号经输入级(一般为电压或电流互感器)调整后加到多个并联的带通滤波器的输入端(每个滤波器的带通中心频率不同,且为可调,以便能覆盖整个谐波频率范围);滤波器输出信号经检测与放大后,可同时得到多个谐波分量的幅值;顺序改变滤波器的中心频率可得到所需的、但非同--时刻的谐波谱线。模拟式谐波分析仪的优点是结构较简单,但准确度较低,一般只能求出各次谐波的幅值,不能很好反映谐波间的相互关系,因而不适用于具有不断变化的非稳定信号的谐波测量。



谐波分析仪原理框图

(a) 模拟式; (b) 数字式

数字式谐波分析仪 采用模数转换,经数字运算给出结果的谐波分析仪。其测量原理为:首先对被测信号进行采样,然后经模数转换成为数字化的采样数据,如 N 个采样数据能均匀分布在被测信号的一个周期上,且满足 $N > 2M$ (M 为被测信号的最高次谐波次数),则依据这 N 个采样数据,理论上能准确地求出被测信号的各次谐波的幅值与相角,其原理框图如图(b)所示。数字式谐波分析仪大多采用微型计算机来控制整个系统的协调工作,并参与数字运算,高级的还

带有各种接口与多种输出装置(打印、显示、图象等)。数字运算一般采用快速傅里叶变换(简称FFT),可同时快速分析出谐波分量的幅值、相角以及谐波有功、无功功率。数字式谐波分析仪的优点是:功能较全面(除可测谐波电压、电流、谐波功率外,还可测有功、无功、视在功率和功率因数等参量),测量速度快,准确度高,自动化程度高,使用方便。它是发展较快的现代化的测量设备。

(戴先中)

谐波功率 (harmonic power) 同频率的谐

波电流和电压构成的功率。当二端元件的电流 $i(t)$ 和电压 $u(t)$ 设定的正方向如图所示,而且它们都是同周期的非正弦波形时,若将电流和电压的非正弦周期波形分别分解成傅里叶级数,将直流分量和基波分别当作零次和一次谐波看待,设 U_n 和 I_n 分别是第 n 次谐波电压和电流的有效值, φ_n 是第 n 次谐波电流滞后于第 n 次谐波电压的相角差,并规定 $\varphi_0=0$,则第 n 次谐波的有功功率 P_n 为

$$P_n = U_n I_n \cos \varphi_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

P_0 为直流分量的有功功率, P_1 为基波的有功功率。含有谐波源用户的有功功率 P 可能小于基波的有功功率 P_1 ,这时将有一部分谐波

功率为负值,即负荷发出一部分谐波功率并将它反馈回电力网。这部分谐波功率可能使其他用户受到谐波污染。与此类似,第 n 次谐波的无功功率 Q_n 为

$$Q_n = U_n I_n \sin \varphi_n, \quad n = 1, 2, \dots$$

第 n 次谐波的视在功率 S_n 为

$$S_n = U_n I_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

第 n 次谐波的复功率为

$$P_n + jQ_n \text{ (或 } P_n - jQ_n \text{)}$$

(孙树勤)

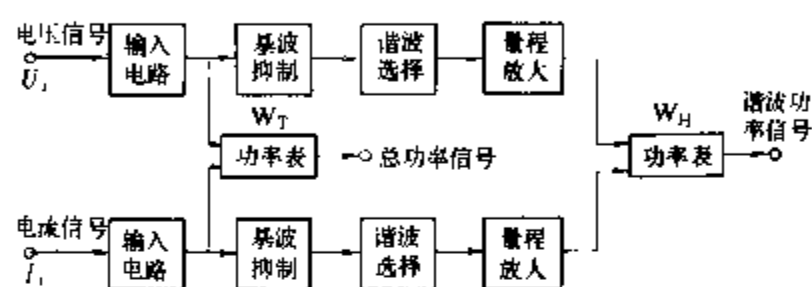
谐波流向仪 (harmonic power flow direction meter)

监测电网谐波干扰源的仪器。可测量电力线路中总功率和高次谐波功率的流向和幅值,以判断某一特定的负载是谐波吸收器还是谐波源。

当多处测量到电压畸变超限而其谐波源无法确定时,或者在母线上测量到的电压畸变不是由连接到该母线的负荷所产生时,就可利用谐波流向仪,迅速准确地查出真正的谐波源所在。

图示为谐波流向仪的原理框图。其中,电流通道的

电压通道分别设有基波抑制和谐波选择专用滤波器,以便抑制基波,选出所要测量的谐波分量。在电网频率的变化范围内,其增益和相位应保持不变。接在后面的量程放大器必须具有适当的增益选择,以便在不同谐波含量的情况下,都能正常工作,不致出现过载或无指示的现象;同时要求放大器在各个不同的增益下运行时,都具有相同的相移。功率表 W_H 和 W_T 可显示谐波功率和总功率的符号(即流向)及数值。功率表必须保证在正向与反向都具有良好的线性,并且在所希望测量的谐波频率上具有相同的测量准确度。



谐波流向仪框图

谐波流向仪设有电压信号输入端和电流信号输入端,可直接连接到通常设在变电站的测量用互感器的二次侧。在配电盘的面板上,设有总功率、谐波功率、谐波电压和谐波电流等四种指示电表,可直接读出上述各参量的测量结果。当谐波功率表的指针偏转方向与总功率表的指针偏转方向一致时,则表明所测量的电力负荷是谐波吸收器;如果它们的偏转方向相反,则表明该电力负荷是谐波源。谐波流向仪应具有较高的谐波功率测量灵敏度和较小的谐波流向指示盲区,并具有总功率和谐波功率的模拟信号输出,可连接到图形记录器上,便于24h连续监测谐波功率的流向。

(许 逵)

xiezhen

谐振 (resonance) 正弦电源激励下,含电感、电容元件的无源二端网络端子上的电压,和与之成关联方向的电流同相位的状态。谐振时正弦电源的频率 f_0 (或角频率 ω_0),称作电路的谐振频率(或谐振角频率)。由于电路的谐振是通过电压、电流的相位来定义的,故又称相位谐振。谐振分电压谐振和电流谐振。

电压谐振 又称串联谐振。谐振时,二端网络内相串联的若干个网络的无功电压分量相互抵消。最简单的谐振电路由电阻 R 、电感 L 和电容 C 串联构成,并由电压源(其电压相量为 \dot{U}_s)激励,如图1所示。当电源的频率等于电路的谐振频率 $f_0=1/(2\pi\sqrt{LC})$ (角频率 $\omega_0=1/\sqrt{LC}$)时,电路谐振。串联的电感电

压 \dot{U}_L 和电容电压 \dot{U}_C 相互抵消,电阻电压 \dot{U}_R 等于电源电压 \dot{U}_s 。电压相量图见图2。谐振时,电路中电流 $I_0=\dot{U}_s/R$ 和电源电压同相。感抗 $\omega_0 L$ 和容抗 $1/(\omega_0 C)$ 相等,并以特性阻抗 ρ 来表示,即 $\rho=\omega_0 L=1/(\omega_0 C)$ 。电感电压和电容电压的有效值相等, $U_L=U_C=QU_s$,其中, $Q\triangleq\rho/R$,称作谐振电路的品质因数。 $Q>1$ 时,电感电压、电容电压大于电源电压。

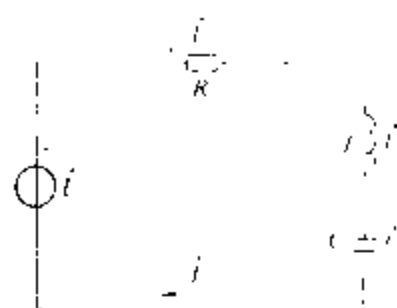


图1 RLC串联谐振电路

谐振曲线 电源电压的有效值不变时,电路响应随电源频率变化的曲线。其中的一种是通用谐振曲线,它的纵坐标是电流 I 和谐振电流 I_0 的比值,横坐标是电源频率 f 和谐振频率 f_0 的比值,记作 $\eta=f/f_0$,并且以品质因数 Q 作为参变量。通用谐振曲线的公式为

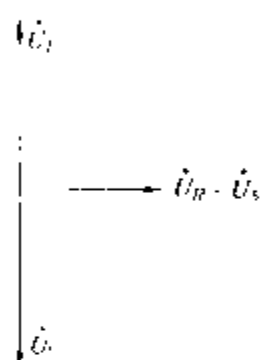


图2 图1电路谐振时的相量图

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\eta - \frac{1}{\eta} \right)^2}}$$

曲线见图3。谐振时, $\eta=1$,电流最大。品质因数 Q 愈大,曲线愈尖,它表明电源频率 f 稍许离开谐振频率 f_0 (即 η 稍许偏离1)时,电流比谐振时电流 I_0 要小得多。这也意味着 Q 大时,只有频率接近于 f_0 的电源,才在电路中产生较大电流,此时电路呈现低阻抗;在其它频率下,电流很小,电路呈现高阻抗。电路对频率有“选择性”。 Q 越大,电路的选频特性越好。

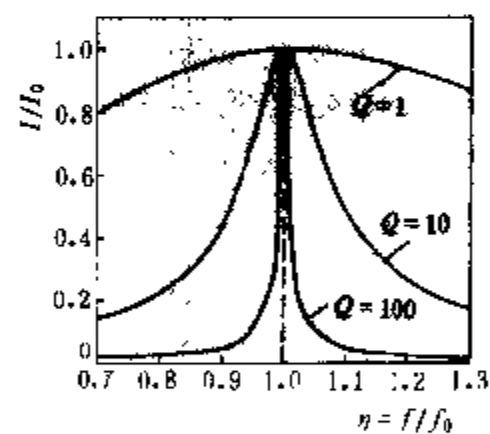


图3 串联电路的通用谐振曲线

电流谐振 又称并联谐振。谐振时,二端网络内有并联的两个网络的无功电流分量相互抵消。最简单的电流谐振电路由电阻 R 、电感 L 和电容 C 并联构成,由电流源激励,见图4。电源频率等于电路的谐振频率 $f_0=1/(2\pi\sqrt{LC})$ 时,电路谐振。谐振时,电感电流 \dot{I}_L 和电容电流 \dot{I}_C 相互抵

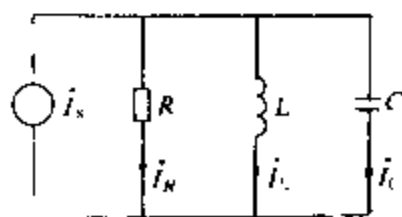


图4 并联谐振电路

电路谐振。谐振时,电感电流 \dot{I}_L 和电容电流 \dot{I}_C 相互抵

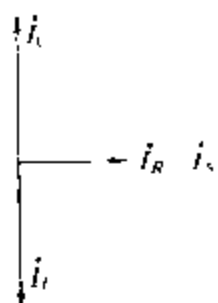


图5 图4电路谐振时的相量图

消,电阻电流 i_R 等于电源电流 i_s 。它们的相量图见图5。电路的品质因数 $Q \triangleq R/\rho$, 式中特性阻抗 $\rho = \omega_0 L = 1/(\omega_0 C)$ 。品质因素 Q 大时, 只有其频率接近谐振频率 f_0 的电源, 才在电路里引起较大电压, 此时电路呈现高阻抗; 在其他频率下, 电压很低, 电路呈现低阻抗。 Q 越大, 电路的选频特性越好。 $Q > 1$ 时, 电感电流、电容电流大于电源电流。

混联形式的谐振电路 电阻、电感、电容元件以混联形式构成的谐振电路。这种电路的谐振频率可以不止一个。图6所示电路就是其中之一例。当电源频率是 $f_1 = 1/[2\pi \sqrt{L(C_1+C_2)}]$ 时, 图中用虚线框住的两个串联子电路的电压相互抵消, 出现串联谐振, 电路呈现低阻抗。当电源频率是 $f_2 = 1/(2\pi \sqrt{LC_2}) > f_1$ 时, L 和 C_2 的并联子电路的电流相互抵消, 电路呈现高阻抗。此电路可顺利地让频率是 f_1 的电流流通, 阻止频率是 f_2 的电流通过。 f_1 和 f_2 是该电路的两个谐振频率。

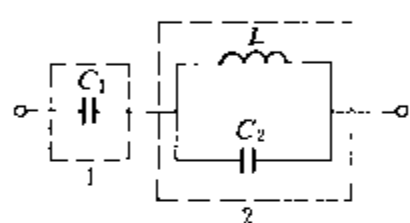


图6 由电容 C_1 、 C_2 和电感 L 组成的谐振电路

谐振现象的应用及危害 谐振现象的应用很广。在电力系统中, 有些负荷例如电力机车会产生3次和高次谐波电流(见非正弦周期电流电路)。为了不使这种电流侵入电网, 常在用户端接入滤波器, 见图7。

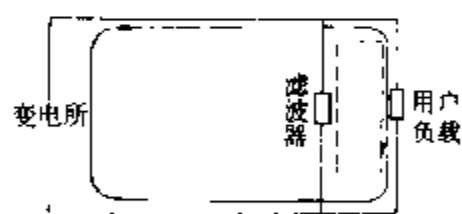


图7 用户侧接滤波器的电路

最简单的滤波器是图1所示的串联谐振电路。设滤波器在3次谐波的频率(150 Hz)下谐振, 这时它呈现低阻抗。用户产生的3次谐波电流基本上沿图7中虚线回路流通, 不侵入电网。滤波器在工频(50 Hz)下呈现高阻抗, 工频电流基本上沿图7中实线回路流通。一般收音机中的中频放大器也利用了谐振现象, 放大器只让中频电压加到它的负载上去。

由于电路谐振时, 串联谐振电路的电感(电容)电压可以大于输入电压, 并联谐振电路的电感(电容)电流可以大于输入电流, 在电力系统中要注意防止谐振时产生的高电压或大电流对设备的破坏作用。

(江魁德)

xiezhen dianqiao

谐振电桥 (resonant bridge) 见交流电桥。

xielou dianliu shiyan

泄漏电流试验 (leakage current test)

在直流电压作用下测量绝缘中流过的传导电流以衡量绝缘特性的试验。绝缘的导电性是由于其内部存在的各种载流子在电场作用下, 自由迁移而造成。绝缘中流过的传导电流称为泄漏电流, 其值通常是极微小的。电介质受绝缘老化、潮湿或污秽等因素影响, 其内部载流子会增多、载流子的迁移率加大, 表现出传导电流剧增, 因而测定绝缘设备在一定条件下的泄漏电流可作为判断绝缘性能的一种依据。

泄漏电流的测量可在直流耐压时进行, 在升压过程中分段读取电流值, 根据电压和电流是否呈线性关系, 可衡量试品的绝缘状况。泄漏电流试验原理与测绝缘电阻相同, 因施加电压较高, 故检测灵敏度得到提高。

试验时由直流高电压发生器对试品施加所需电压, 通常用微安表测电流。它可接在高压侧或低压侧, 前者读数和操作不便, 后者易受杂散电流影响而造成测量误差。影响试验结果的因素较多, 如接线方式、环境条件和试品表面污秽情况等, 需采取相应措施。为保证安全, 在试验回路中设有试品击穿的快速切断保护装置, 微安表并联保护间隙等。

(凌 慈)

xinhao liutu

信号流图 (signal flow diagram) 控制系统中信号传递和变换关系的一种图解描述, 是描述系统变量间关系的数学方程的图形表示。控制系统的数学模型表述成以 s 为变量的代数方程, 亦称信号流程图。信号流图的符号简单, 绘制容易, 运用方便。利用梅森增益公式可以直接从信号流图算出系统的传递函数。由信号流图可以直接画出系统的模拟计算机仿真线路。

信号流图术语 如图1所示, 有下述术语。

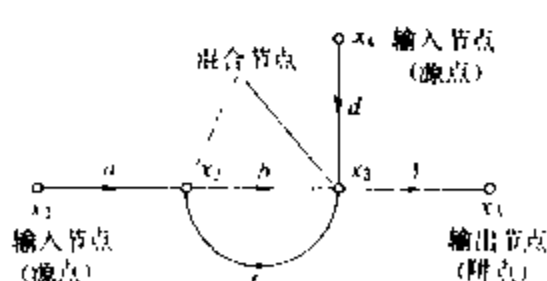


图1 信号流图

节点: 表示变量或信号的点。变量的值 w 为 $x_i (i=1, 2, \dots)$ 。

支路: 连接两个节点的定向线段。支路的增益称为传输。传输的值记为 a, b, c, \dots 。

输入节点或源点: 只有输出支路的节点。

输出节点或阱点：只有输入支路的节点。

混合节点：既有输入支路，又有输出支路的节点。

通路：沿支路箭头方向而穿过各相连支路的途径称为通路。若通路通过任一节点不多于一次，称为开通路。若通路的终点就是通路的起点，并且通过任何其他节点不多于一次，称为闭通路。

回路增益：回路（就是闭通路）中各支路传输的乘积。

不接触回路：回路之间没有任何公共节点。

前向通路：从输入节点到输出节点的通路，通过任何节点不多于一次。

前向通路增益：前向通路中各支路传输的乘积。

信号流图的性质

(1) 支路表示了一个信号对另一个信号的函数关系，信号只能沿支路上的箭头方向通过。

(2) 节点可以将所有输入支路的信号总加，并将总和信号传送到所有输出支路。

(3) 由混合节点增加一个具有单位传输的支路，可以增加一个输出节点（如图1中 x_3 ）。

(4) 对于给定的系统，信号流图不是唯一的。

信号流图代数 对应于图2，有下述规则：

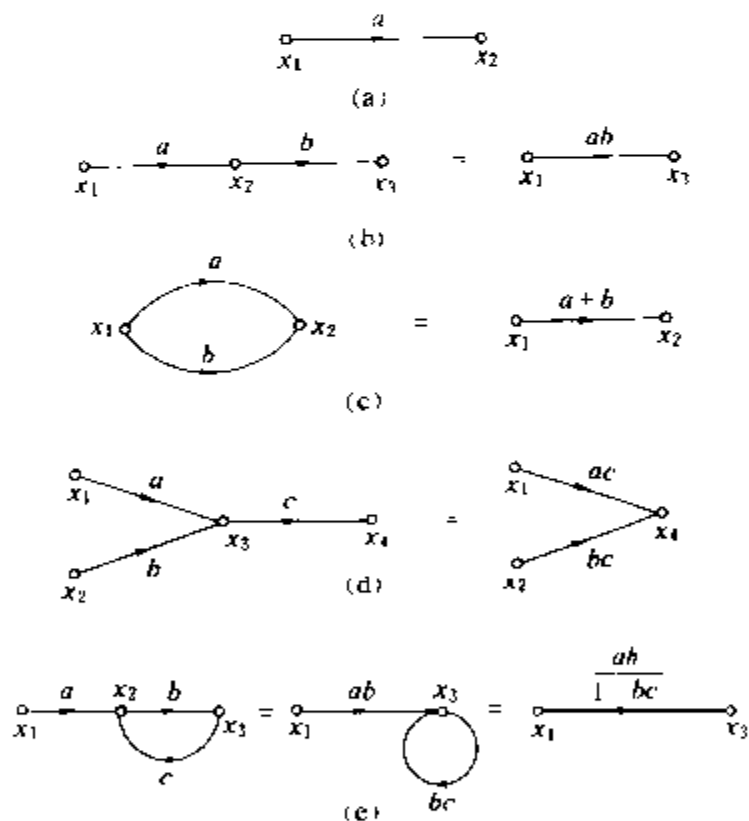


图2 信号流图代数

(1) 只有一个输入支路的节点的值为 $x_2 = ax_1$ [图2(a)]。

(2) 串联支路可合并为单一支路 [图2(b)]。

(3) 并联支路可合并为单一支路 [图2(c)]。

(4) 混合节点可以消掉 [图2(d)]。

(5) 回路可以消掉 [图2(e)]。因为 $x_3 = bx_2$ ， $x_2 = ax_1 + cx_3$ ，所以 $x_3 = abx_1 + bcx_3$ ，这就是有 x_3 的自回路。自回路还可以消掉，即有 $x_3 = \frac{ab}{1-bc}x_1$ 。

信号流图与框图的对应 图3(a)示一控制系统的框图，图3(b)则是对应的信号流图。

信号流图的化简与框图的化简类似，还可以使用信号流图代数规则。

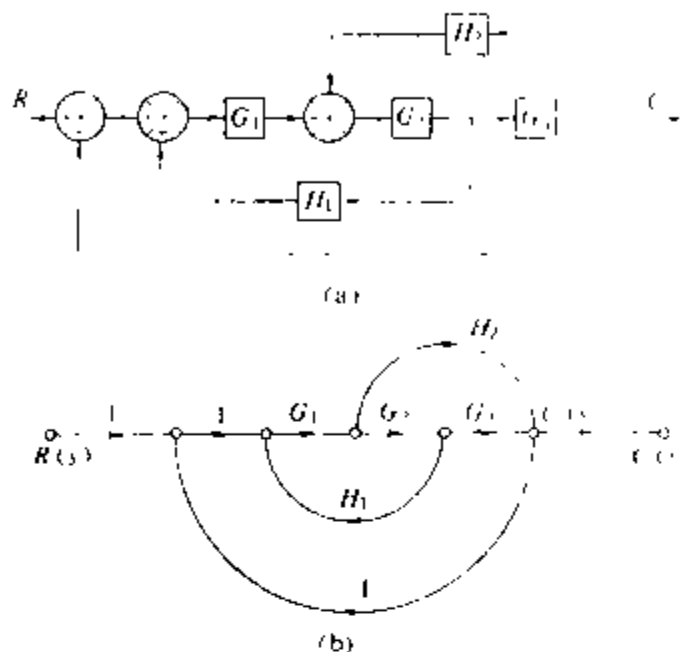


图3 一个多回路控制系统

(a) 框图；(b) 信号流图

梅森 (S. J. Mason) 增益公式 输入节点与输出节点之间的总传输，可以表示为

$$P = \frac{1}{\Delta} \sum_k P_k \Delta_k$$

式中 P_k 为第 k 条前向通路的通路增益或传输， Δ 为流程图的特征式，流图的特征式 $= 1 - (\text{所有不同回路的增益之和}) + (\text{每两个互不接触回路增益乘积之和}) - (\text{每三个互不接触回路增益乘积之和}) + \dots = 1 - \sum L_i + \sum_{i,j} L_i L_j - \sum_{i,j,k} L_i L_j L_k + \dots$ ； Δ_k 为在除去与第 k 条前向通路相接触的回路流图中，第 k 条前向通路特征式的余因子。

作为例子，对图4所示的系统信号流图应用梅森公式。在这个系统中，输入量 $R(s)$ 与输出量 $C(s)$ 之间，有三条前向通路，增益分别为： $P_1 = G_1 G_2 G_3 G_4 G_5$ ， $P_2 = G_1 G_6 G_4 G_5$ ， $P_3 = G_1 G_2 G_7$ 。有四个单独回路，增益分别为： $L_1 = -G_4 H_1$ ； $L_2 = -G_2 G_7 H_2$ ； $L_3 = -G_6 G_4 G_5 H_2$ ； $L_4 = -G_2 G_3 G_4 G_5 H_2$ 。互不接触的回路只有 L_1 和 L_2 。因此， $\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) + L_1 L_2$ 。

从 Δ 中将与通路 P_1 接触的回路去掉，得 $\Delta_1 = 1$ 。同理得 $\Delta_2 = 1$ 。又从 Δ 中将与通路 P_3 接触的回路 L_2 、 L_3 、 L_4 和 $L_1 L_2$ 去掉，得 $\Delta_3 = 1 - L_1$ ，于是，总增益为

$$\begin{aligned} C(s)/R(s) = P &= \frac{1}{\Delta} (P_1 \Delta_1 + P_2 \Delta_2 + P_3 \Delta_3) \\ &= [G_1 G_2 G_3 G_4 G_5 + G_1 G_6 G_4 G_5 \\ &\quad + G_1 G_2 G_7 (1 + G_4 H_1)] / (1 + G_4 H_1 \\ &\quad + G_2 G_7 H_2 + G_6 G_4 G_5 H_2 \\ &\quad + G_2 G_3 G_4 G_5 H_2 + G_4 H_1 G_2 G_7 H_2) \end{aligned}$$

对于图3(b)信号流图，同样可应用梅森公式

(比上述例子简单), 且所得结果与通过框图化简所得的一致。

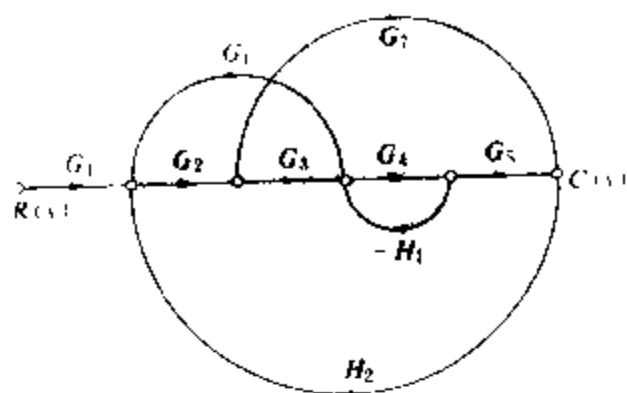


图4 一个系统的信号流图

(徐瑞德)

xingjie zukang he sanjiaojie zukang de bianhuan

星接阻抗和三角接阻抗的变换 (transformation between star-connected and delta-connected impedances)

接成星形的三个阻抗和接成三角形的三个阻抗互相替代的等效变换。它们之间的关系可用一组变换公式表示。按这组公式, 用星接阻抗替换三角接阻抗或者反过来, 不会影响稳态下电路其它部分的正弦电压和电流, 常用于对称三相电路的分析和计算。

图1为三个阻抗 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 接成星形 (又称Y形)。图2为三个阻抗 Z_{12} 、 Z_{23} 、 Z_{31} 接成三角形 (又称△形)。它们之间的变换公式如下:

(1) 将星形连接变换或三角形连接

$$\left. \begin{aligned} Z_{12} &= Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \\ Z_{23} &= Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} \\ Z_{31} &= Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(2) 将三角形连接变换成星形连接

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \\ Z_2 &= \frac{Z_{23} Z_{12}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \\ Z_3 &= \frac{Z_{31} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

当三个星接阻抗相等, 即 $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_Y$ 、三个三角接阻抗相等即 $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = Z_{\Delta}$ 时, 变换公式是

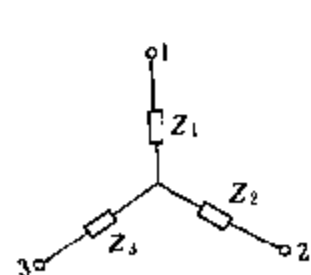


图1 星接阻抗

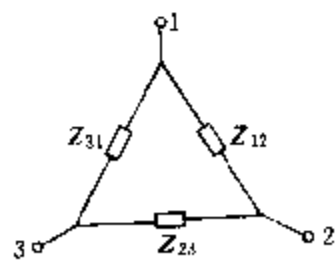


图2 三角接阻抗

$$Z_{\Delta} = 3Z_Y, \quad Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3}$$

(黄运川)

xun cunchuqi

虚拟存储器 (virtual storage) 可以被计算机系统的用户看作可编址主存储器的存储空间。其中虚拟地址被映射到实地址中, 虚拟存储器的大小由计算机系统的编址方案以及所能使用的辅助存储器的总容量所限制, 而不由主存储器的真正个数所限制。虚拟存储器工作速度接近于主存储器, 每位成本与外存储器相当。

存储管理 虚拟存储器的实现是建立在页式或段式或段页式存储管理基础上的。20世纪70年代以前的机器, 大多只能实现其中的一种, 80年代中期推出的不少芯片, 可同时提供这三种方式供用户选择: ①页式存储管理: 主存分配以页为单位, 管理由若干页组成的作业。把作业地址空间分为若干固定大小的页, 把主存储器空间分为大小与页相同的“存储块”, 存储管理机构将作业的“页”离散地装入主存储器“存储块”内。用页表来实现作业逻辑地址到主存储器物理地址的映射。其优点是作业可离散地装入主存储器, 避免了大量代码移动, 页内零头小。缺点是每页不是相对完整的代码, 不便于实现代码共享和保护。②段式存储管理: 主存储器分配以段为单位, 管理由若干段组成的作业。段是一组比较完整的代码, 其长度是任意的。其关键是如何利用地址变换机构把分段(二维)地址结构变换为主存储器(线性)地址结构。段式管理具有便于分段动态扩张、动态链接、分段共享和存储保护等优点。③段页式存储管理: 用分段方法管理作业地址空间, 用分页方法管理主存储器地址空间。它兼有分段和分页两者之优点, 但实现起来比较复杂。原来只能在大、中型机上应用, 随着超大规模集成电路技术发展, 32位微处理器芯片已提供实现段页式存储管理的硬件支持。

硬件支持 为实现虚拟存储器, 须两方面的硬件支持: ①地址变换: 用于把用户程序中的逻辑地址变换为内存的物理地址。目前有寄存器映象、联想映象及段映象三种。②缺页(段)检查: 检查被访问的页(段)是否已驻主存储器, 若否, 则将其从辅助存储器调入主存储器。地址映象及缺页(段)检查都属于每条指令的基本操作, 应由硬件高速实现, 即须有存储管理部件的支持。在20世纪80年代初期已开发出一批专门的MMU芯片。80年代中期已把存储管理部件和中央处理器做在一块芯片上, 以提高中央处理器的运行速度和降低系统的成本。

实现原理 实现方法有请求页式、请求段式和请求段页式三种。原理基本相似, 在请求式存储管理中,

作业无须全部装入主存储器便可运行。在作业运行时必将发生被访问的页(段)尚未装入主存储器,此时由地址变换机构产生缺页(段)中断,由操作系统把所要访问的页(段)调入主存储器,并修改相应的页(段)表,之后作业又继续运行。如果主存储器已满,则必须先淘汰一部分页(段)后方能将缺页(段)调入。如果被淘汰的页(段)已被修改过,则应将该页(段)写回辅助存储器。

置换算法 用于确定主存储器中哪些页(段)可被调出,以腾空部分主存空间存放即将调入的页(段)。常用的置换算法有四种:①LRU(最近最少使用)算法:置换最近一段时间内最久未用的页面。该算法出现较早也很有效,但需要较多的硬件支持;②NRU算法:是LRU的近似算法,对硬件要求较少,只要求为每个页(段)设置一个引用位,常用在中、小型机中,也首先采用在微机中;③WS(广义工作集)算法:精确地模拟了动态存储要求,但需要较多的硬件支持和计算开销;④WS-CLOCK算法:兼有WS和CLOCK两种算法优点的较实用的算法,已广泛用于中、小型机和超级微机中。

(汤子瀛)

xuanzhuan cichang

旋转磁场 (rotating magnetic field) 随时间在空间旋转的磁场。它有圆旋转磁场和椭圆旋转磁场之分。

圆旋转磁场 磁感应强度矢量 B 的箭头端沿圆周移动的旋转磁场。

顺时针旋转磁场 三个完全一样的线圈AX、BY、CZ在空间沿着顺时针方向彼此间隔 120° , 其中BY在AX之后, CZ又在BY之后(图1)。若对这三个线圈

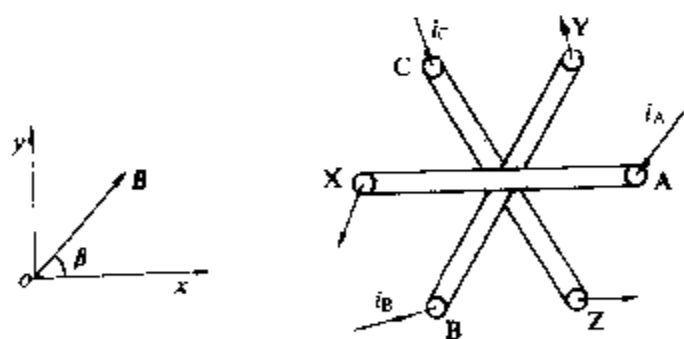


图1 三个线圈的示意图

的始端A、B、C通入正序的对称三相电流,则在三个线圈的中心处O所产生的磁感应强度矢量 B 的模 $B = 3/2 B_{mp}$ (B_{mp} 为每一相电流在O处产生的正弦磁感应强度的振幅), 矢量 B 与 x 轴的夹角 $\beta = \pi - \omega t$ 。这样, 随着时间的增加, 磁感应强度矢量 B 的大小保持为 $3/2 B_{mp}$ 不变, 同时以角速度 ω 在空间作顺时针旋转, 故该磁场为顺时针旋转的圆旋转磁场。图2是该磁场中

在 $t=0, T/4, T/2$ 和 $3/4T$ 时的磁感应强度矢量 B 的示意图(设A相电流 i_A 的初相位为零)。其中周期 $T = 2\pi/\omega$, r_A^0, r_B^0 和 r_C^0 是指示方向的单位矢量, 长度为1, 方向则与所对应的线圈的绕行方向成右手螺旋关系。

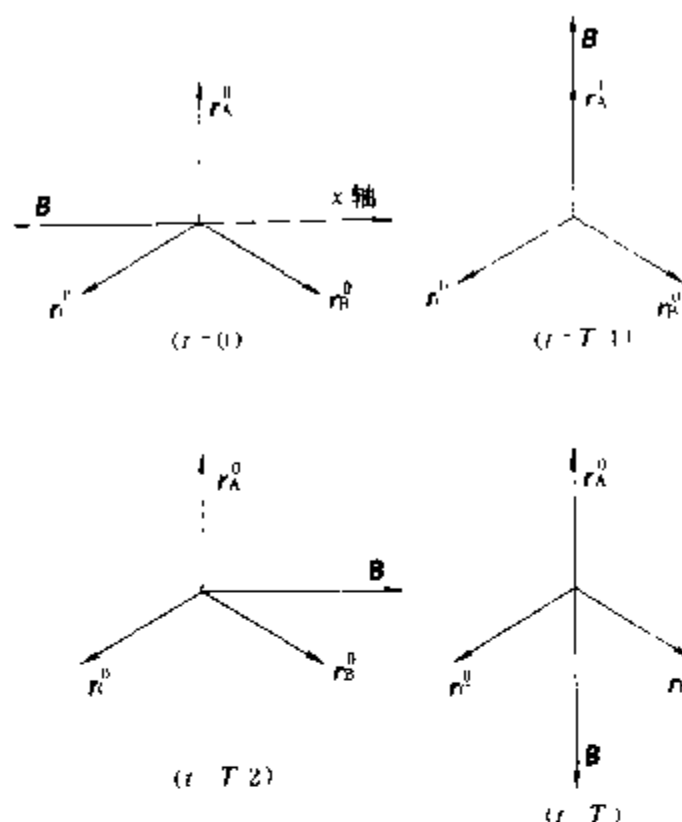


图2 顺时针圆旋转磁场示意图

逆时针旋转的磁场 在上述的三个线圈的始端A、B、C处通入负序的三相对称电流, 则在三个线圈的中心处O的磁感应强度矢量 B 的模 $B = 3B_{mp}/2$, 但矢量 B 与 x 轴的夹角 $\beta = \omega t$ 。随着时间的增加, 磁感应强度矢量 B 的大小不变, 却以角速度 ω 作逆时针旋转, 故该磁场是逆时针旋转的圆旋转磁场。

三相电动机的正转与反转 三相电动机定子上有上述的三个线圈叫作定子绕组。将该电动机接于用户端的三相电源线上, 若通入定子绕组AX、BY、CZ始端的是正序的对称三相电流, 绕组电流会在电机内产生旋转磁场, 使电机正转; 若通入的是负序的对称三相电流, 则三相电动机反转。三相电动机正常工作时一般是正转的。这样, 三相电动机接到三相电源线之前, 需先用相序指示器确定好三相电源线的A、B、C的相序。

椭圆旋转磁场 磁感应强度矢量 B 的末端移动的轨迹为椭圆的旋转磁场。当图1中三个线圈不一样或者是通入三个线圈始端的是正序(负序)不对称三相电流, 则随着时间的增加磁感应强度矢量 B 末端移动的轨迹为椭圆, 故该磁场为椭圆旋转磁场。

(范丽娟)

xunzhi fangshi

寻址方式 (addressing operation) 见指令系统。

Y

yadian cailio

压电材料 (piezoelectric materials) 在压力作用下发生极化而在两端表面间出现电位差的电介质。在异极晶体材料的特定方向上施加应力,晶体一些对应表面上分别出现正、负束缚电荷,其电荷密度与施加应力的方向或比例,当应力反向时,电荷改变符号,这种由机械应力使电介质极化,并形成晶体表面荷电的效应称为压电效应。反之,当加外电场于这种晶体时,晶体就会产生形变,称为逆压电效应。晶体的上述性质称为压电性。因此,晶体的压电性是由于应力和应变等机械量与电场强度和电位移(或极化强度)等电气量之间的耦合效应造成的,并带有明显的方向性。压电晶体应是介电体,其内部结构具有非中心对称的异极对称型点群。

1880年J. 居里(J. Curie)和P. 居里(P. Curie)兄弟首先发现 α -石英晶体等具有压电性。1894年W. 沃伊特(W. Voigt)搞清了产生压电性的晶体内部结构点群的关系。1954年B. 贾菲(B. Jaffe)开发了钛锆酸铅(PZT)二元系压电陶瓷。此后各种性能优良的压电材料不断问世。

按照形态特征和性质可以把压电材料作如下的分类:

- 压电材料
 - 单晶体
 - 仅具压电性单晶(如 α -石英、锆酸铋、 α -磷酸锂等)
 - 压电热释电单晶(如钛酸钡、铌酸锂、锆酸铅等)
 - 压电半导体单晶(如氧化锌、氮化铝等)
 - 多晶体(如钛酸铅、锆酸铅、锆钛酸锆(PZT)等压电陶瓷)
 - 薄膜(如氧化锌、氮化铝等压电薄膜)
 - 复合物(如聚合物加铁电陶瓷,可以有10种不同的复合方式)
 - 聚合物[如聚二氟乙烯(PVF₂)、聚氟乙烯、聚氟乙烯等]

压电材料在压电滤波器、振荡器、换能器、压力传感器、声表面波器件和压电铁电光学器件等方面得到应用。目前广泛用来作滤波器材料是压电陶瓷、压电石英、铌酸锂和钽酸锂等。其适应频率大约为1~200 MHz,常用于多路通信中的话路带通滤波、卫星通信中的滤波等。晶体振荡器使用最多的是石英晶体振荡

器和谐振器。压电换能器的种类繁多,使用广泛,如发射型换能器有扬声器、耳机、陶瓷蜂鸣器等,接收型换能器主要有微音器、拾音器等。压电振子作为超声波的发生或接受广泛用在各种机器上,如通信用的水中电话机、动力机上的清洗机等。压电材料可构成热敏、力敏、光敏、声敏等压电传感器。压电声表面波器件已投入实用,该器件几乎能完成各种电子器件的功能,如信号的延迟、滤波、振荡、编码以及各种变换。

参考书目

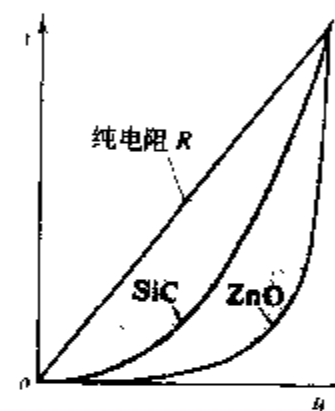
B. Taffe, W. R. Cook. Piezoelectric Ceramics.
London and New York: Academic Press, 1971

(余尚银)

yamin dianzuqi

压敏电阻器 (varistor) 具有非线性伏安特性,且与电压极性无关的一种电阻器。广泛用于抑制瞬态过电压。

特性 目前广泛采用的有碳化硅(SiC)、氧化锌



(ZnO) 压敏电阻器。它们在电压低于某一阈值时电阻值很高,只流过1 mA以下的漏电流;但当电压高于此阈值,则电流急剧加大,可以通过5~10 kA的电流(见图)。因此它们对瞬间过电压具有良好的抑制吸收作用。

用途 可用来保护器件、设备,使其免遭过电压的破坏。自1929年起,美、德等国先后采用碳化硅压敏电阻材料制成高压避雷器,以防止输电线路雷击过电压对高压设备的破坏。中国自50年代开始生产碳化硅避雷器并曾用于国内

330 kV线路。1968年日本研制出氧化锌压敏材料,它比碳化硅有更明显的非线性特性,低压下漏电流可小于1 μ A,几乎为一绝缘体。故此种压敏器件得到更为广泛的应用,除可用于原来使用碳化硅的场合外,还扩大用于各种用电设备上用作过电压保护,如用其保护家用电器、电子设备等。

ZnO 压敏器件 由片状的陶瓷制品,两边加上金属电极、引出导线和外绝缘封装构成。ZnO片的显微结构是由具有良好导电性的ZnO晶粒和具有绝缘特性的含杂ZnO晶界层所构成,实际上是一种多晶混合物陶瓷材料。在低场强下,晶界层有高电阻,只能通过很小的漏电流;当晶界层处的电场超过某一临界值

时则将发生隧道击穿、电流将急剧增加。但这种击穿多为可逆性击穿，即瞬态过电压和过电流通过之后如器件未发生热破坏，则晶界层仍能恢复其绝缘特性。利用这种多晶结构，能很方便地制成具有不同电压和电流的器件。

ZnO 压敏电阻器的主要特性参数有：① U_{1mA} 为漏电流为 1mA 时的额定电压值。② U_{1kA} 为放电电压达到规定值 1kA 时的电压。③残压比 $= \frac{U_{1kA}}{U_{1mA}}$ 。④非线性系数 α 。⑤允许的通流容量，即允许通过的浪涌峰值电流。

(张志清)

yanmian fangdian

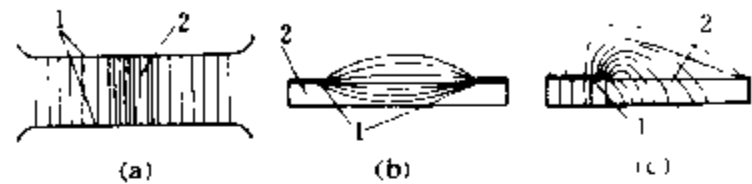
沿面放电 (discharge along dielectric surface) 沿着不同凝聚态电介质交界面的放电。通常出现较多的是气体或液体电介质中沿固体介质表面的放电。由于表面状态或电极布置等原因，面体介质的存在，使气体或液体间隙的放电电压降低了。为了区别纯间隙放电和沿面放电，把前者称为间隙击穿，后者称为沿面闪络。各种具有高电位的金属部件，不能没有固体介质的机械支持，因此生产实际中经常会碰到许多沿面放电的问题。

在均匀或不均匀电场中，沿面放电电压降低的机制是不同的。

均匀电场下的沿面放电 在图 (a) 中，固体介质处在均匀电场中，电力线与固体介质表面平行，好象固体介质的存在，不应影响间隙的放电电压。其实固体介质的密度是不均匀的，表面上存在微细的凹凸，大气中的潮气会使介质表面蒙上湿膜，这些都可能引起介质表面局部电场的畸变，从而导致间隙放电电压的降低；严重时，固体介质的存在，能使间隙放电电压降低到纯间隙放电电压的 1/3。

不均匀电场下的沿面放电 不均匀电场中沿固体介质表面的放电，又可分为电场有弱垂直分量 [图 (b)] 和电场有强垂直分量 [图 (c)] 两类。图 (b) 中电场的切线分量较强，垂直分量较弱。这种情况的典型例子是棒型支柱绝缘子。它的沿面放电电压比间隙击穿电压低得不很多，而且基本上随极间距离的增长而上升。图 (c) 中一个电极附近电力线比较密集，且电场具有很强的垂直分量。这种情况的典型例子是套管。这种放电形式与前两种有所不同，随着外施电压的升高，在电场较强的电极附近，先出现蓝紫色的电晕放电，然后变为弥散的带状放电，发光仍比较弱，放电通道内的电压降仍比较大，放电通道长度随外施电压的升高而增长。当施加交流电压超过某一值时，个别点将

出现树枝状的明亮火花，叫做滑闪放电。滑闪放电通道内的电流密度较大，电压降比较小。其伏安特性是下降的，稍增电压，即可使滑闪放电增长许多，显然闪络电压很低。一般认为：由于垂直分量使带电质点与固体介质表面间的碰撞，引起局部表面过热，产生热电离。在电气设备中应避免滑闪放电。



介质在电场中的特征布置

(a) 均匀电场；(b)、(c) 不均匀电场

1—电极； 2—固体介质

提高沿面放电电压的方法 沿面放电电压的降低，都是由于电场畸变引起，但机制不同。在均匀电场中，应采用均一的、表面不吸潮的材料。在不均匀电场中，改善电极形状或采用屏蔽电极，都可提高沿面放电电压。在强垂直分量的不均匀电场中，在施加交流或冲击电压时，采用电容率小的绝缘材料，或增加其厚度，对改善电场分布和提高滑闪电压及闪络电压都是有益的。

(张仁豫)

yan wuran dianjiezhi biao mian fangdian

沿污染电介质表面放电 (discharge along a contaminated dielectric surface) 在电压作用下，暴露在大气中受污染的固体电介质表面，出现泄漏电流、局部电弧和闪络的现象。电力设备（特别是户外运行的电力设备）的外绝缘暴露在大气中，受到环境污染后绝缘表面沉积一层污垢，其中包含电解质和惰性物质，遇雾、露、毛毛雨等天气，绝缘表面湿润导电，在电压作用下，产生泄漏电流和局部电弧；局部电弧发展延伸，直至连通两极，导致闪络，简称污闪。电力设备外绝缘的设计，一般都保证在晴天和雨天，即使出现各种过电压，也不应发生闪络。但污染外绝缘有可能在运行电压下就发生闪络。污闪事故停电时间长，损失电量多，而且随工业的发达和运行电压的升高而日趋严重。因此沿污染电介质表面放电的研究有重要的意义。

放电过程 可分为积污、湿润、局部电弧、闪络四个阶段。

(1) 积污：大气中的污物沉积到介质表面。污物有自然的，也有人为的。如沿海地区的盐分，盐碱地带的盐碱，各种工业污秽和农业地区的农药、化肥及尘埃等。

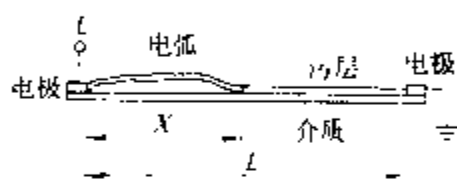
(2) 湿润：沉积在介质表面的污层，在干燥时一般

是不导电的,但在雾、露、毛毛雨下污层受潮后,其中含有的电解质溶解电离,污层就导电了,在电压作用下,产生了泄漏电流。

(3) 局部电弧:泄漏电流的焦耳热能烘干潮湿污层,在电流密度大的部位会出现干区,由于电压集中到干区,在一定条件下就会出现跨越干区的辉光放电。由于污层的继续受潮和泄漏电流的不断增大,辉光放电将转变成局部电弧;弧道的压降很低,其伏安特性是下降的。

(4) 闪络:由于干区的扩大和电流的交变,局部电弧时燃时灭;但总的趋势,污层越来越潮,泄漏电流越来越大,局部电弧能维持的长度越来越长,一旦电弧延伸到贯通两极,就发生了污闪。

物理模型 沿污染介质表面放电的物理模型如图



沿污染介质表面放电
的物理模型

所示。其数学表达式为 $U = AxI^n + IR(x)$, 式中 U 为外施电压; x 为局部电弧长度; I 为电流; n 为电弧常数; $R(x)$ 为电弧短路部分外的剩

余污层电阻。外施电压必须维持电弧压降 AxI^n 和电阻压降 $IR(x)$ 。电弧压降随电流的增大而按指数规律下降;电阻压降则随电流的增大而上升。因此,为维持某一长度的局部电弧,必然需要一最小电压。随局部电弧的延伸,此最小维持电压将随之增大,但超过某一弧长,此最小维持电压反将减小。即使电压不变,局部电弧也将迅速延伸,直至闪络。此一弧长叫做临界弧长,相应的电压和泄漏电流,叫做临界电压和临界泄漏电流,临界电压即污闪电压。由此可求得相应于某一污层电导率时沿泄漏路径的污闪梯度,小于此梯度,可以不发生污闪。

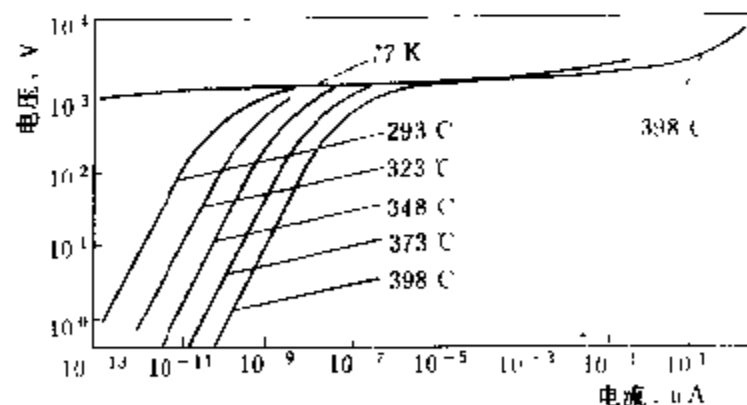
提高污闪电压的方法 增长泄漏距离可提高污闪电压。如增加绝缘子元件个数,或采用泄漏距离较长的耐污绝缘子,在绝缘子表面涂覆憎水性涂层或用有憎水表面的材料做绝缘子,都能抑制泄漏电流,提高污闪电压。

(张仁豫)

yanghuaxin

氧化锌 (zinc oxide) 锌的氧化物。分子式为 ZnO , 六角晶系, 晶格常数 $a=0.324\text{ nm}$, $c=0.521\text{ nm}$, 禁带宽度为 3.2 eV , I-VI 族半导体, 质量密度 $5.5\sim 5.6\text{ g/cm}^3$, 电容率 $\epsilon_s=8.12$, $\epsilon_\infty=3.72$, 熔点 1975°C , 1800°C 以上开始升华, 常温下本征电阻率很高, 对短波有光敏性。有两种方法可使其在常湿附近成为半导体: ①纯 ZnO 经高温热处理可成为本征半导体, 原因是一部分氧原子逃逸, 晶格中形成氧缺位或锌

填隙缺陷结构, 缺陷能级为施主能级。 ZnO 成为本征 N 型半导体, 其电导率与热处理温度、降温速度有密切关系。常温下电子迁移率为 $0.022\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。②用 I、II 族元素掺杂形成杂质半导体。常用的 I 族元素为锂, II 族元素为铝、镉和铟等。无天然产物, 由锌盐热分解成在空气中燃烧金属锌可制得白色粉末状氧化锌, 俗称锌白。以粉末氧化锌为原料, 人工生长单晶或气相沉积薄膜, 利用其压电效应, 可用作制造电声器件的材料, 故亦称为压电半导体。但其更主要的用途是作为氧化锌系陶瓷半导体原料, 其用法是以氧化锌粉体为主成份, 加入必要的几种其他氧化物添加剂, 添加剂总含量约在 $5\%\text{mol}$ 左右, 经一般电子陶瓷工艺处理后便可制成致密的陶瓷体。视添加剂成份和含量的不同, 氧化锌陶瓷可有多种不同功能: ①加入 Bi_2O_3 或 Pr_2O_3 和非饱和过渡金属氧化物 Co_2O_3 、 MnO_2 等添加剂的氧化锌半导体陶瓷具有优异的非线性伏安特性, 低电压下具有高电阻, 电压增高至一定值后, 瓷体变成可通过瞬态电流密度为 $10^2\sim 10^3\text{ A/cm}^2$ 的良导体, 其伏安特性一般用 $I\propto U^\alpha$ 表示, 非线性指数 α 可大于 30; 称这种陶瓷为压敏氧化锌陶瓷。常用压敏氧化锌陶瓷的伏安特性曲线如图所示。其电压范围和电流承受能力可分别通过改变瓷体厚度和面积来调整, 与添加剂成份及工艺亦有关。用压敏氧化锌陶瓷制造的压敏电阻是电气技术领域过电压保护的重要器件。1968 年首次制成这种材料与器件, 1972 年被广泛应用。②加入 SnO 、 ZrO_2 、 Ga_2O_3 等制成多孔陶瓷, 其气孔相当于开放的毛细管结构, 比表面积很大, 可以吸附或凝结水蒸气及其他气体, 视添加成份不同, 可制或湿敏或对 H_2 、 CO 等敏感的陶瓷敏感器件。③用作化学反应的催化剂。氧化锌陶瓷工艺简单、性能稳定, 原料丰富, 是一种有重要发展前景的工业材料。



氧化锌陶瓷伏安特性曲线

(刘辅宜)

yeti dianjiezhi de diandao

液体电介质的电导 (electrical conduction in liquid dielectrics) 液体电介质在电场作用下

所具有的流过极小漏电流的性能。在高压电力设备中多采用液体介质作为绝缘媒质,它们具有介电强度高、绝缘性能好并易于导热等优点。液体电介质在纯净情况下电导率可低至 10^{-13} S/m;如引入杂质,则电导率可增加到 10^{-9} S/m。

液体电介质的电导按其载流子的不同可区分为:离子电导、胶体电泳电导和电子电导三种。通常以前两种为主。电子电导只在液体接近击穿的高场强($E > 10^7$ V/m)下才会明显产生。液体中电导电流的伏安特性通常呈线性关系,故可用介质电导率 γ 或介质电阻率 ρ 来表征其电导特性。

(1)离子电导。液体电介质中的离子来源于极性液体介质分子本身的热离解和杂质分子的热离解。液体电介质中离子在电场作用下的定向迁移与在固体中的离子迁移相似,是以热跃迁方式进行的。液体电介质中的离子电导率 γ 与温度 T 呈指数关系,即 $\gamma = Ae^{-\frac{B}{T}}$, A 近似为常数, B 与活化能有关。许多液体电介质加电容器油、变压器油、环己烷等均满足上式。

(2)电泳电导。工程中所用的液体电介质中有时会含有树脂、水等胶体颗粒,这些胶粒本身带电,在电场作用下作定向迁移,就构成电泳电导。由于胶粒的平均迁移率 μ 与液体粘度 η 成反比,故电泳电导率 γ ($\gamma = qn_0\mu$, 式中 q 为载流子所带电荷量; n_0 是载流子浓度)与 η 的乘积,为一与温度无关的常量。此关系称为华尔屯定律。

(3)电子电导。在接近液体电介质击穿的强电场下,其电流随电场强度呈指数关系上升,此时为电子电导,并伴有碰撞电离现象发生,而电子的初始来源往往是电极的场致发射。

(徐传骥)

yeti dianjiezhi dianjichuan

液体电介质电击穿 (electronic breakdown in dielectric liquids) 在电场作用下,纯净液体电介质的分子因电子碰撞而电离,最终导致液体电介质由绝缘状态突变为良导电状态的过程。

对于纯净的液体电介质,其伏安特性可划分为三个区段。

第一个区段为低场强区。参与导电的带电粒子是因自然界中射线对液体分子的电离作用,或因液体中不可能完全去除的微量杂质在电场作用下解离而产生的。随电压的上升,电流线性增加。

第二个区段为中场强区。由于越来越多的离子已参与了导电,随电压的升高,电流增加的速度变慢,呈现出不十分明显的饱和趋向。在一、二两个区段中,液体电介质中虽有电流流过,但数值甚微,液体仍具有很

高的电阻率。

第三个区段是场强为 1 MV/cm 以上的高场强区。因场致发射,或因强电场作用增强了的热电子发射而脱离阴极的电子,在电场中运动、加速、碰撞液体分子,且以一定的概率使液体电介质的分子电离。电场

足够强时,电子在其运动过程中,不断使液体分子发生碰撞电离,电子迅速增加,因碰撞电离而产生的正离子移动至阴极附近,增强了阴极表面的场强,使电极发射的电子数增多。这样,随着极间电压的不

纯净液体电介质的击穿场强

电介质名称	击穿场强 (kV/cm)
正己烷	1.1~1.3
苯	1.1
优质矿物油	1.0~4.0
硅油	1.0~1.2
液氮	1.6~1.88

断升高,电流急剧增加,液体电介质最终失去绝缘能力,发生击穿。

一些高度纯净液体电介质的击穿场强如表所示。

(谈克雄)

yeti dianjiezhi jichuan

液体电介质击穿 (breakdown in dielectric liquids) 在电场作用下,液体电介质由绝缘状态突变为良导电状态的过程。

液体电介质击穿过程的试验研究还不很充分,关于液体电介质击穿的全面理论尚未形成。对于纯净的液体电介质,存在两种用来解释击穿过程的理论——电击穿理论(见液体电介质电击穿)和气泡击穿理论(见液体电介质气泡击穿)。对于或多或少含有水分、纤维等杂质的工程用液体电介质的击穿过程,可用小桥击穿理论(见液体电介质小桥击穿)解释。

(谈克雄)

yeti dianjiezhi qipao jichuan

液体电介质气泡击穿 (bubble breakdown in dielectric liquids) 在电场作用下,因纯净液体电介质中出理气泡,最终导致液体电介质由绝缘状态转变为良导电状态的过程。

对液体电介质的研究中观察到击穿电压受压力影响的理象,这说明在液体电介质的击穿过程中存在着形或气泡的转变过程。在外施电场较强时,纯净液体电介质中产生气泡有下述几种可能:①因场致发射,或因强电场作用加强了的热电子发射而脱离阴极的电子,在电场中运动形成电子电流,加热了液体,使它分解出气泡;②电子在电场中运动,碰撞液体电介质分子,使液体分子解离产生气泡;③电极表面突起物处的电晕放电,使液体气化生成气泡;④电极表面吸附的气泡表

面上积聚电荷,在电场力的作用下,将气泡拉长。

液体电介质中出现气泡后,在电场作用下气泡发生电离;温度升高,体积膨胀,电离进一步发展。电离产生的带电粒子又撞击液体分子,分解出气体。电离的气泡或在电极间形成小桥,或使液体电介质中的电场分布发生畸变,最终导致液体电介质击穿。

(谈克雄)

yeti dianjiezhi xiaoqiao jichuan

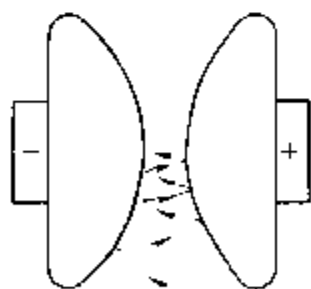
液体电介质小桥击穿 (breakdown in dielectric liquids caused by impurity bridge) 在

电场作用下,工程用液体电介质中因杂质形成小桥,导致液体电介质由绝缘状态突变为良导电状态的过程。

工程用液体电介质中含有水分和固体杂质(如纤维、碳粒、金属末、尘埃、油漆)。由于水滴、潮湿纤维类杂质的电容率比液体电介质的大,在电场作用下,它们将被吸引到电场强度较大的区域,顺着电力线方向排列起来,在电极间场强较大处构或了杂质小桥。小桥的电导和电容率都比液体电介质的大,这就使电场产生了强烈畸变,造成液体电介质的击穿场强下降。如杂质足够多,则还能构或贯通电极间隙的小桥。由于小桥电导大,沿小桥将流过较大的泄漏电流,小桥强烈发热,使液体电介质和水局部沸腾气化,击穿将沿此“气桥”发生。

电场和电压种类对杂质形成小桥的过程有显著影响。

在比较均匀的电场中,杂质的影响特别明显。在直流电压作用下,杂质被吸引到电场强度较大的地方。杂质接触电极后带有与该电极同号的电荷,并被推向异号电极。在接触异号电极后,杂质又遭到排斥,重新向另一电极运动。这样,杂质将按图中所示的路径逐渐向电极间积聚,并构或小桥,导致击穿。在交流电压作用下,杂质也将被吸引入电极间隙,但它们的运动受电极上电压极性变化的影响,在长间隙中难于形成连续小桥。杂质堆积在电极附近,形成不连续小桥,使电场发生显著畸变,降低了液体电介质的击穿场强。在冲击电压作用下,因电压作用时间很短,杂质来不及运动,它们对液体电介质击穿场强的影响,不如直流及交流电压下严重。



杂质在电极间的运动路径

在极不均匀电场中,曲率较大的电极附近,液体电介质金强烈扰动,不可能形成小桥,杂质对液体电介质击穿场强的影响较小。

当电极面积增加,或当处于高场强下的液体电介质体积增加时,杂质形或小桥,导致击穿的可能性增加。因此,随着电极面积的增加,或随着高场强下的液体体积(最大场强的90%以上场强作用下的液体体积)的增加,液体电介质的击穿电压下降。这种击穿电压随电极面积或高场强下液体体积的增加而下降的效应称为面积效应或体积效应。

(谈克雄)

yeti jueyuan cailiao

液体绝缘材料 (liquid insulating materials)

电气设备中用以阻止传导电流的液体电介质,又称绝缘油。主要用于变压器、电容器、断路器、电缆等油浸电气设备中,用以取代空气填充固体绝缘材料内部或极板间的空隙,改善设备的绝缘性能与散热能力。在电容器中还可增大单位体积的储能量,在断路器中则起绝缘和灭弧双重作用。从来源看,绝缘油主要有矿物油、合成油和植物油。工程中使用最早的是植物油,如蓖麻油、菜籽油等。为满足各种电气设备的不同要求,发展了多种类型的合成油,如十二烷基苯、硅油等。但至今作为绝缘油使用最多的仍然是矿物油。绝缘油应具有优良的介电性能,即:电气强度高,介质损耗角正切值小,绝缘电阻率高,相对介电常数 ϵ_r 小(在电容器中则要求 ϵ_r 大);散热能力强,即比热大,热导率大;老化稳定性好;与之相接触的固体材料之间的相容性优良;汽化温度低,闪点高,不易燃烧;凝固点低,具有适当的粘度;毒性低。为提高其绝缘性能,常用白土、硅胶等吸附剂进行精制处理,亦可用电净化等方法去除杂质。使用过程中绝缘油受热、氧、光、金属、电场及水分的作用会产生老化。为抑制其老化,应加强设备的散热,隔绝空气并加入防老化剂。矿物油中常用酚类或芳香胺类抗氧化剂,各类合成油中除加入酚类抗氧化剂外,还常加入各类环氧化合物作稳定剂。判断绝缘油的老化程度主要是测量油的酸值、沉淀物及 $\tan\delta$ 的增量。为改善单一品种绝缘油的性能,有时用两种或多种绝缘油混合使用,以满足不同的需要。

(王友功)

yiyong dianliu huganqi

仪用电流互感器 (instrument current transformer) 利用在闭合铁芯上两绕组间的电磁感应作用,将待测交流电流按额定比值进行量值变换的仪器。包括电力系统测量用电流互感器和实验室用精密电流互感器。

仪用电流互感器的功用是:①扩展电表的量限,对线路上的电流进行测量;②将额定电流变换为统一的

标称值,以利于所接电表的标准化;③使电表与被测线路的高电压隔离,以保证安全;④精密电流互感器用作标准仪器,以检定准确级别低两级的电流互感器,或用作扩展量限装置,与标准表配合,检定相应的表计。

仪用电流互感器的原理线路如图所示。由于有供给铁芯励磁和功率损耗的励磁电流 I_0 ,一次电流 I_1 将不等于折算后的二次电流 $K_{In}I_2$,从而出现了比差 f 和角差 δ 。其中 K_{In} 为额定电流比。比差 f 的表达式为 $f = \frac{K_{In}I_2 - I_1}{I_1} \times 100\%$; 角差 δ 为 I_1 和反转 180° 后的 I_2 之间的微小相角差值。

电力系统用电流互感器的额定一次电流由 5 A 到几十千安不等,具体数值见国家标准规定;额定二次电流有 5 A 及 1 A。精密电流互感器除包括上述额定值外,额定一次电流可低到 0.1 A 以下;二次电流还增设 0.5 A 及 0.1 A 等额定值。

仪用电流互感器的准确级别分为 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1 级等。

使用时应注意:①电流互感器二次侧严禁开路;②高压互感器的二次侧必须接地;③电流互感器二次负荷不应超出其准确级别所规定的负荷范围;④仪用电互感器变比的选择,应保证电力设备正常运行时,电表指示在满刻度的 $2/3$ 以上;⑤运行和使用中的仪用电互感器,应进行定期检验。

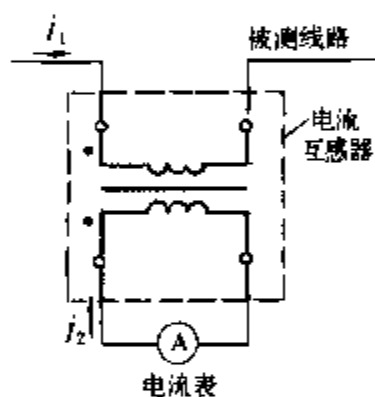


图 10-1-1 电流互感器原理线路

为满足高电压下电流的测量需要,近年来研制出利用法拉第效应的光电式电流互感器。

(彭时雄)

yiyong dianya huganai

仪用电压互感器 (instrument potential transformer)

利用在闭合铁芯上两绕组间的电磁感应作用,将待测交流电压按额定比值进行量值变换的仪器。包括电力系统测量用电压互感器和实验室用精密电压互感器。

仪用电压互感器的功用是:①扩展电表的量限,对线路上的电压进行测量;②将不同额定值的高电压变换为统一的低压额定值,以利于所接电表的标准化;③使电表与被测线路的高电压隔离,以保证安全;④精密电压互感器可用作标准仪器,以检定准确级别低两级的电压互感器,或用作扩展量限装置,与标准表配合,检定相应的表计。

图(a)、(b)分别是电压互感器的原理线路及等值

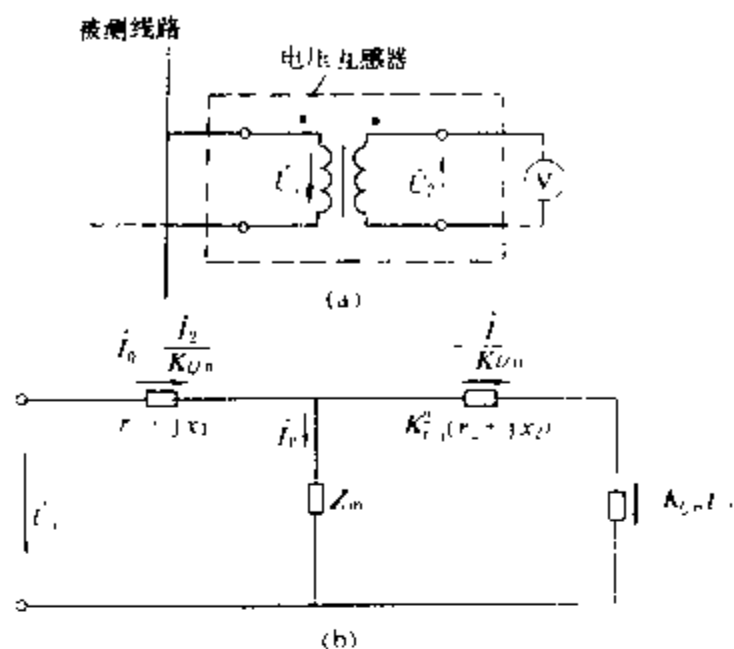


图 10-1-2 电压互感器的原理线路和等值电路

(a) 原理线路; (b) 等值电路

电路。其误差主要由两部分组成:一项是励磁电流 I_0 流过一次绕组漏阻抗 $(r_1 + jx_1)$ 所引起的空载比差 (f_0) 和角差 (δ_0) ; 另一项是负载电流 I_2 流过一次绕组漏阻抗 $(r_1 + jx_1)$ 和二次绕组漏阻抗 $(r_2 + jx_2)$ 所引起的负载误差分量 (f_B, δ_B) 。总比值差 f 和相角差 δ 的表达式分别为: $f = f_0 + f_B = \frac{K_{Un}U_2 - U_1}{U_1} \times 100\%$ 和 $\delta = \delta_0 + \delta_B$ 。其中 U_1 和 U_2 分别为一次和二次电压有效值; K_{Un} 为额定电压比。

中国国家标准规定,电力系统用电压互感器的额定一次电压从 380 V 到 220 kV,决定于电网额定电压值;额定二次电压为 $100/\sqrt{3}$ 、100 V。精密电压互感器除上述额定值外,还有其他额定电压值。

仪用电压互感器的准确级别分 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1 级等。

使用时应注意:①电压互感器二次侧不得短路;②高压互感器二次侧必须接地;③电压互感器二次负荷不应超出其准确级别所规定的负荷范围;④运行和使用中的仪用电互感器应定期进行检验。

对于超高电压的测量,常结合电容分压器组成电容式电压互感器。

(彭时雄)

yiwei jicunqi

移位寄存器 (shift register) 同时具有数码的寄存和移位两种功能的时序逻辑部件。

工作原理 移位寄存器是利用触发器的记忆功能寄存数据,利用逻辑门对数据传送和移位方向进行控制。在移位脉冲 CP 作用下,数码逐位依次向右移动者

称右移移位寄存器,如图1所示;向左移动者称左移移位寄存器,如图2所示。数码输入后,由CP控制先移入低位触发器D0,然后逐位移至高位D1~D3。设输入数码先后次序为D3D2D1D0,经4个CP脉冲作用后,并行输出端数据Q3Q2Q1Q0=D3D2D1D0,在第8个CP脉冲后,数码D3D2D1D0从串行输出端Q3移出。图1和图2可实现串入并出和串入串出两种工作方式。图3可实现并行输入数码,4个与非门由寄存指令控制,将数码D0~D3送入相应触发器D0~D3的S_d端,当D=1时,寄存指令到来后S_d=0,CP作用下触发器Q端置1。所以,当D=1时,Q=1,D=0时,Q=0,从而图3可实现并行输入数码的目的。

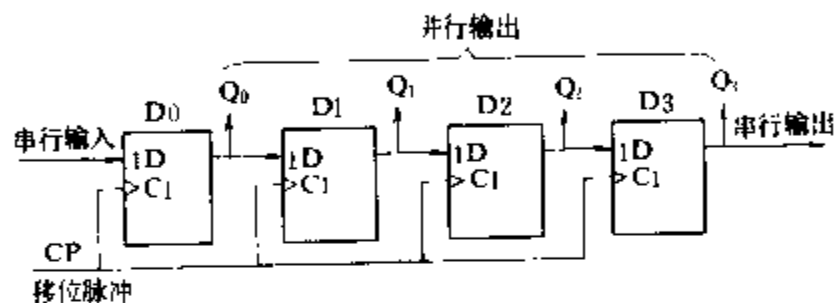


图1 右移移位寄存器

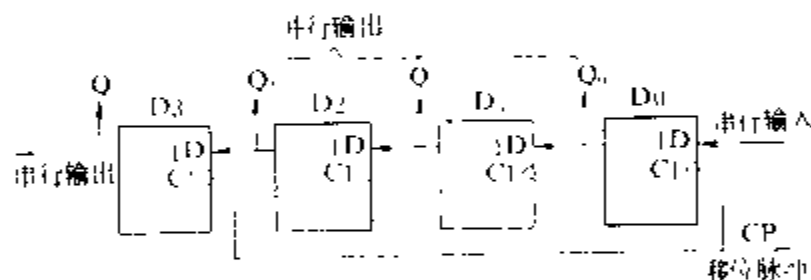


图2 左移移位寄存器

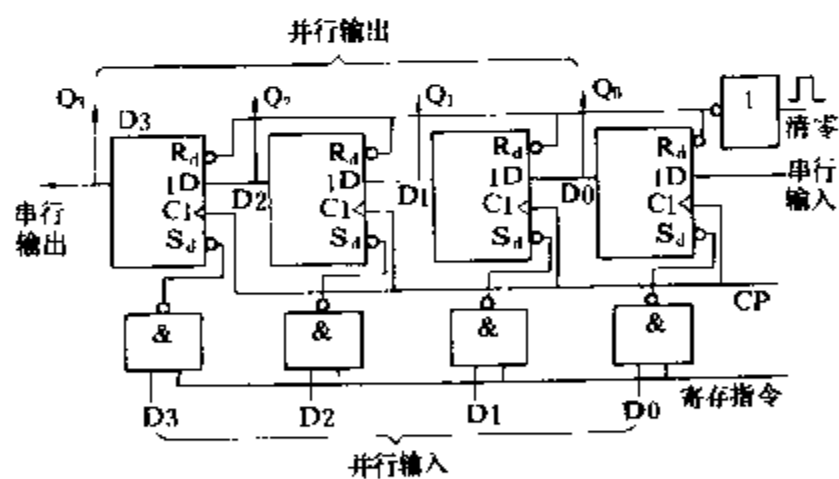


图3 具有并行输入数码的移位寄存器

从图1和图2可以发现,右移寄存器是把左边触发器的Q端接至右边触发器的D端,左移寄存器是把右边触发器的Q接至左边触发器的D。由此可以推知,若欲在同一电路中同时具有右移和左移的双向移位功能时,可将触发器的输入有选择地接到相邻触发器的输出端,即构成如图4所示的兼有右移和左移两种功能的双向移位寄存器。图中每个触发器的输入与

左右两个触发器的输出之间,通过与或非门由移位方向控制信号X选择。当X=1时,四个与或非门左半部选通,右移串行输入数码送入F₀的D端,当D=1时,F₀的Q=1,电路进行右移操作。当X=0时,四个与或非门右半部选通,电路进行左移操作。

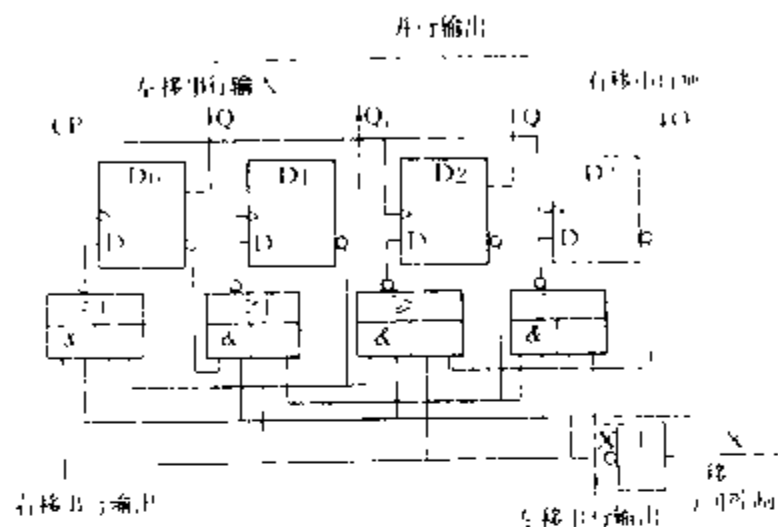


图4 双向移位寄存器

移位寄存器特点 ①各寄存单元组或结构相同;②寄存单元数等于数码可寄存的位数;③各寄存单元共用一个CP同步工作;④每个寄存单元的输出与相邻下一位寄存单元输入相连;⑤若将串行输入端与串行输出端首尾相连,可构成环型移位寄存器,可使输出的数码不丢失。

移位寄存器的应用 ①可实现数据传输的串行到并行和并行到串行的转换;②可构成环形计数器、扭环型计数器、特殊编码的移位寄存器型计数器等;③可组成可编程分频器和脉冲发生器。

(唐泽荷)

yibu jishuqi

异步计数器 (asynchronous counter) 能累计输入脉冲个数且计数单元的各触发器不在同一时刻发生状态更新的时序逻辑电路。异步计数器结构简单,应用广泛,除具有计数功能外,还可组成运算器、分频器和时间分配器等。

工作原理 异步计数器是由若干个接成计数功能的触发器组成。若为JK触发器,则J=K=1(或JK悬空);若为D触发器,则D=Q_n。图1为由三个JK触

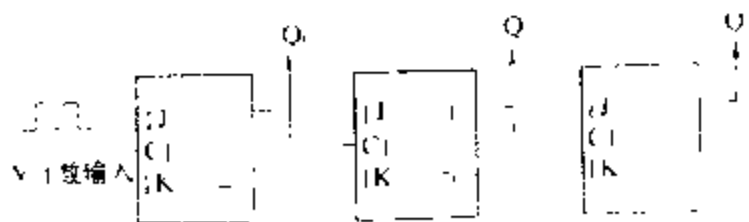


图1 异步加法计数器电路

发器串接组成的三位二进制异步加法计数器电路,可累计 $N=2^3-1$ 个输入脉冲数,由各触发器 Q 端状态检测。图 2 实线箭头为该电路的计数状态转换图,当第 8 个计数脉冲输入后,各触发器 Q 端均恢复为 0 态,所以三级触发器组成一个 8 进制 (2^3) 计数器, n 级则可组成 2^n 计数器,其累计数为 $N=2^n-1$ 个,这种计数器又称为模 2^n ($M=2^n$) 计数器。图 3 电路实线部分为模非 2^n ($M \neq 2^n$) 计数器,为异步五进制 ($M=5$) 计数器电路,当第 5 个计数脉冲输入后,各触发器的 Q 端状态为 101,在第 6 个计数脉冲到来后各触发器状态回到 000 态,如图 2 虚线所示,为此 D1 和 D3 通过 J 端引入线使状态复零, D3 状态不变。若在图 3 五进制计数器的基础上,增加一位二进制计数器 D0 (虚线部分),可构成一个十进制计数器 ($2 \times 5 = 10$)。同理,若一个模 2^n 与一个模非 2^n (设模 $M=3$) 计数器组合,可构成 $2^n \times 3$ ($n=1, 2, 3 \dots$) 进制计数器。在集成计数器中,常采用反馈归零法实现任意进制的计数功能。

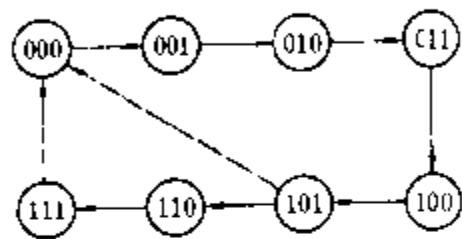


图 2 加法计数状态图

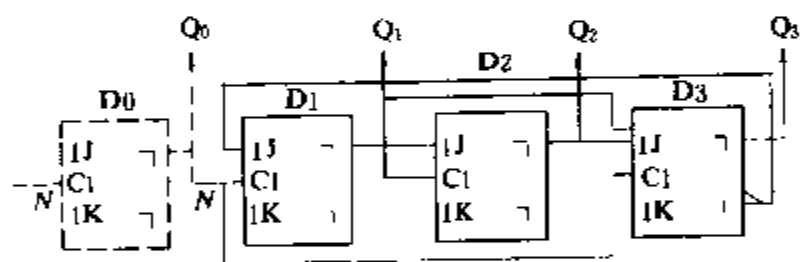


图 3 模非 2^n 计数器电路

计数器分类 ①按模 (M) 分:有模 2^n ($M=2^n$) 计数器和模非 2^n ($M \neq 2^n$) 计数器,又常相应地称为 2^n 进制计数器和非 2^n 进制计数器。②按触发器状态更新情况分,有异步计数器和同步计数器。③按计数输出状态递增递减分,有加法计数器、减法计数器和可逆计数器 (即在同一电路中,由加、减控制信号可控制其进行加法或减法计数者)。

异步计数器特点 异步计数器有如下特点:①几个触发器可组成几位二进制计数器,具有 2^n 种状态,可计 2^n-1 个数。②计数单元各触发器异步工作,由低位输入,状态更新由低位到高位依次进行,又称串行或行波计数器。③异步任意进制计数器,可通过 2^n 进制与 3、5、7 等进制串接构成,或由两个以上同类计数器串接构成,还可利用反馈归零法实现。④各触发器之间连接根据触发器类型和要求确定。下降沿触发的触发器,加法时前级 Q 端接下级 CP 端,减法时前级 \bar{Q} 端接下级 CP 端。上升沿触发的触发器则相反。⑤进 (借)

位信号,要等低位触发器状态更新后逐级送至高位,故工作速度低。

(唐泽荷)

yimaqi

译码器 (decoder) 将每一个输入代码转换为另一个对应的输出代码,即完成翻译代码工作的组合逻辑电路。常用在数字显示电路中。

图 1 是一个 2 线—4 线译码器的逻辑图, A_1A_0 是输入代码, $Y_3Y_2Y_1Y_0$ 是输出代码。由表 1 可见,当 A_1A_0 为任一代码时, $Y_3Y_2Y_1Y_0$ 均给出一个对应的代码。而且,由于每个输出代码中仅有一位是 1,因而可以分别用每一根线的输出 1 状态作为一个输入代码的译码输出。

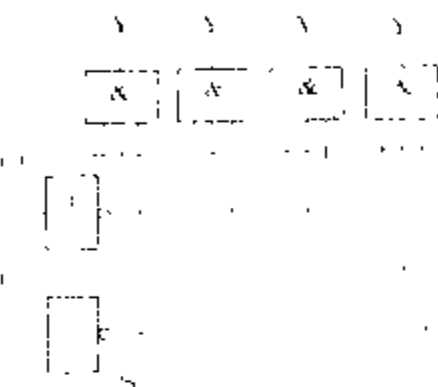


图 1 2 线—4 线译码器的逻辑图

表 1 图 1 电路的功能表

A_1	A_0	Y_3	Y_2	Y_1	Y_0
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0

又是一个多路分配器。

在有些译码器中,每个输出代码中可能不止一位是 1,常见的七段字形译码器就是一例。图 2 是七段字形译码器的符号,表 2 是它的功能表。从表 2 中可以看到,输入代码 $A_3A_2A_1A_0$ 的 0000~1001 状态分别表示十进制数的 0~9,输出代码的 a、b、c、d、e、f、g 分

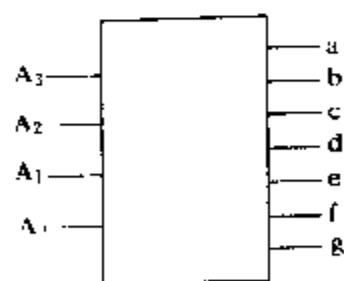


图 2 七段字形译码器的符号

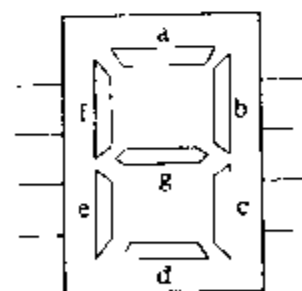


图 3 七段字形显示器示意图

别控制着七段字符显示器 (见图 3) 的一段。例如当 $A_3A_2A_1A_0=0101$ (表示十进制的 5) 时,输出代码 $abcdefg=1011011$,即 a、c、d、f、g 为 1,于是对应的各段被点亮,在显示器上显示出 5 的字形。

表2 七段字形译码器的功能表

数字	A_3	A_2	A_1	A_0	a	b	c	d	e	f	g	字形
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
6	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
9	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9

(阎石)

yingji dianzi fash

阴极电子发射 (electron emission from cathode)

阴极发射电子的过程。在气体放电中阴根起着重要作用，它提供电子，维持了电流的循环。在金属阴根中，电子可以自由运动。但在阴极表面，由于电子和晶格离子之间静电力的作用形成势垒，使电子不能离开电根表面。为了克服表面势垒的阻碍，把电子移到阴极之外，需要施加逸出功 $e\phi$ (或称为功函数)。逸出功决定于阴根的材料和表面状态。给电子提供能量，把电子从阴根中释放出来的方式有光电发射、热发射、场致发射、二次发射等。

光电发射 波长足够短的电磁辐射入射到阴极表面引起的阴根电子发射。光电发射的条件为

$$h\nu = hc/\lambda \geq e\phi$$

式中 h 为普朗克常数； ν 为光频率； c 为光速； λ 为光波长； $e\phi$ 为逸出功，eV。对应于逸出功 $e\phi$ 的入射光的临界波长 λ_c 为

$$\lambda_c = hc/e\phi = 12400/e\phi \text{ \AA}$$

对于大多数的纯金属， λ_c 落在紫外光谱区域，其光电发射系数（一个入射光子产生的光电子数）约在 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 的范围。光电器件就利用了光电发射效应。在光电器件的阴极表面涂上一层氧化物或合金，使 λ_c 落在可见光区甚至红外区，其光电发射系数也大大增加。

热发射 由于温度升高而引起的阴根表面电子发射。在室温下，只有极少数的电子，它的能量超过金属表面势垒，可从阴极表面离开。当把阴极加热到 1500 ~ 2500 K 时，将有一部分电子具有足够的能量，穿过势垒面从表面发射出来。在真空中，表面热发射的饱和电流密度 j_s 用理查得逊(Richardson)公式表示

$$j_s = AT^2 \exp(-e\phi/kT) \text{ A/m}^2$$

式中 k 为玻耳兹曼常数； A 为取决于材料种类的常数，

例如钨的 A 值为 $7.0 \times 10^5 \text{ A/m}^2 \cdot \text{K}^2$ ， $e\phi$ 为 4.5 eV，在温度 $T=2500 \text{ K}$ 时， $j_s=3.8 \times 10^3 \text{ A/m}^2$ 。

场致发射 由于外加强电场而引起的阴极表面电子发射。在外加强电场的作用下，阴极中部分电子“穿过”势垒而从表面发射出来。按照量子力学的理论，处于位阱中的电子，即使它的能量不超过势垒的势能，也有一定的概率穿过势垒而跑掉，这就是所谓的“隧道效应”。在强电场的作用下，势垒的形状变窄变低，电子就容易穿过势垒面从表面发射出来。对于一定的金属，其场致发射电流密度可根据波动力学，用福勒-诺得海姆(Fowler-Nordheim)公式进行计算。

在气体放电过程中，如果在电根表面有氧化物绝缘薄层，正离子会积聚在其上，可形成高达 10^8 V/m 的强电场，引起场致发射，这种现象称为马尔特(Malter)效应。

二次发射 由正离子、受激励的中性原子和分子轰击阴根表面而引起的电子发射。正离子从阴极轰击出电子，必须由一个正离子至少打出两个电子，其中一个用于中和正电荷，另一个为自由电子。因此，正离子所具有的动能 W_k 和势能 W_p 之和应大于逸出功 $e\phi$ 的两倍，即

$$W_k + W_p \geq 2e\phi$$

正离子轰击阴极表面是主要的二次发射机制；中性粒子的轰击对二次电子的产生作用较小。

参考书目

杨津基，气体放电，北京：科学出版社，1983

(罗承沐)

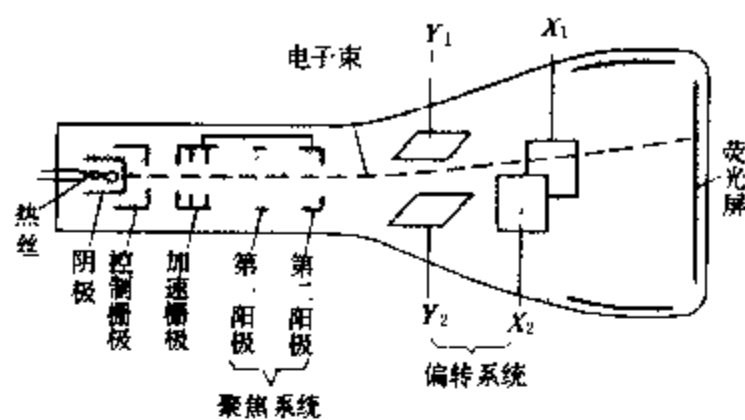
yingji shexian shiboguan

阴极射线示波管 (cathode-ray oscilloscope tube)

使电子束能在荧光屏的一个很小面积上聚焦，并能改变其位置 and 强度以得到可见光学图形的一种真空电子器件。示波管显示的图形特性与加到它的输入信息（一个或几个电信号）有关。它广泛应用于示波器、雷达。阴极射线示波器是一种具有阴根射线示波管，通过荧光屏显示波形来观察周期性的或瞬态的可变电量的仪器。示波器是电子学中使用最广泛的工具之一，是进行物理、生物和工程实验研究的必备显示仪器。

图中是常用的具有静电聚焦和静电偏转电极的阴根射线示波管结构示意图。它的基本部件是管壳、电子枪和荧光屏。管壳的作用是保证管子的真空密封，并作为荧光屏的基体和支撑电子枪。壳内保持 $10^{-5} \sim 5 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ 的真空度。多数管壳采用玻璃制成，呈漏斗状，较大的一端是荧光屏。

电子枪用来产生电子束,并对其进行控制、聚焦和



阴极射线示波管结构示意图

偏转。电子枪由电子发射系统、聚焦系统和偏转系统组成。发射系统包括热丝、阴极、控制栅极和加速栅极。当电流通过钨丝(热丝)使外涂发射材料的镍筒(阴极)加热并保持约1050K时,阴极将发射电子。加速栅极上的电压建立起来的电场,穿过控制栅极上的孔,决定着从阴极拉出的受空间电荷限制的电流的大小。当控制栅极电位变得较负时,加速电场减弱,电子束电流下降。电子发射系统三电极的结构决定了电场分布,形成一个电子透镜,使阴极发射过来的电子轨迹在控制栅极至加速栅极空间内与电子枪轴线相交。电子穿过轴线的位置,称为交叉点,由于空间电荷效应,发射速度的不均匀性及发射方向不垂直性等原因,交叉点仅仅近似为一个交叉截面(电子圆盘),但它仍是阴极前面的最小电子束截面。越过交叉点、电子束便沿着直线发散轨迹向聚焦系统运动。在构成聚焦系统的第一阳极和第二阳极上分别加以电压就形成了聚焦场(主电子透镜)。进入聚焦场的电子束轨迹转向电子枪轴线。聚焦场的作用是将交叉截面成像到荧光屏上产生光点。静电偏转系统是利用静电场对运动电子的作用使电子束偏转。静电偏转系统由对称于电子枪轴线的两对互相垂直的偏转板构成。一对偏转板使电子束水平偏转,另一对使其垂直偏转。在水平偏转板(X_1 、 X_2)上加扫描锯齿波电压,垂直偏转板上(Y_1 、 Y_2)加被观察的电压信号,就可在荧光屏上显示出被观察信号的图形。为了提高偏转灵敏度,常采用偏转后加速系统。荧光屏上涂有受电子束激发而发光的荧光粉层。荧光屏的作用是将电能转变为可见光点。

(张志清)

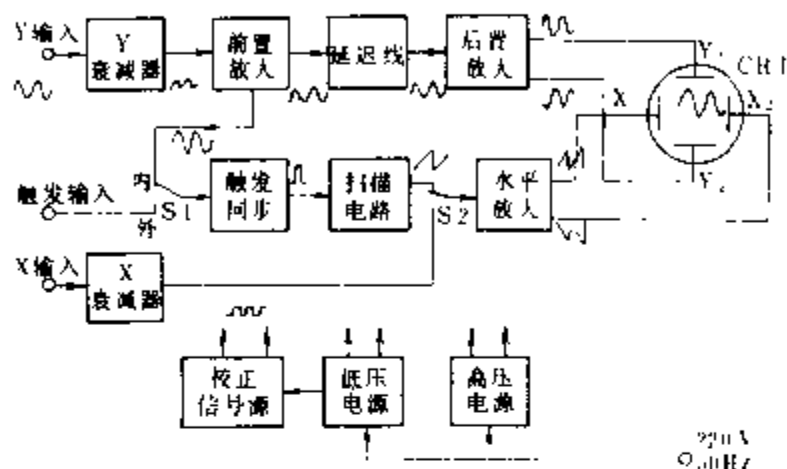
yinji shexian shiboqi

阴极射线示波器 (cathode-ray oscilloscope)

在阴极射线示波管的荧光屏上显示一种或多种瞬时变化电位差曲线的仪器,又称电子示波器。如欲显示其他瞬时变化的物理量,须事先转化为电位差。

原理 阴极射线示波器的主要部件为阴极射线示

波管(图中CRT)。由电子枪形成的电子束受加在偏转板上的电位差控制,沿水平和垂直两个方向运动,打在荧光屏上形成一定的轨迹。通常把与时间成正比的电位差加到水平偏转板(X_1 、 X_2)上,使产生扫描线;而将随时间变化的电位差加到垂直偏转板(Y_1 、 Y_2)上,如此即可显示出被测电位差随时间变化的波形。



通用示波器框图

通用宽频带示波器的框图如图所示。被测信号接到Y输入端,经Y衰减器、前置放大、延迟线及后置放大至示波管的垂直偏转板 Y_1 、 Y_2 。其中延迟线的作用是使被测信号延迟一段时间出现在由它产生的水平扫描线之后,以便观察到信号波形的起始部分。被测信号或外接触发信号速过触发同步电路产生触发脉冲,起动扫描电路,产生与时间成正比的锯齿波电压,经水平放大加到示波管的水平偏转板 X_1 、 X_2 。高压电源供电给示波管各电极和辉度、聚焦等调节电路。低压电源供电给放大、触发、扫描等电路。校正信号源产生标准幅度和频率的方波信号,用于校准Y通道灵敏度和X通道扫描速度。当水平放大器由X输入端经X衰减器接入外加信号时,可以构成各种X—Y显示方式。

分类 电力系统常用的电子示波器有:通用示波器、多线示波器、存储示波器等。

通用示波器 采用单电子束示波管构成的示波器,也可以利用电子开关形成多踪示波器,即一束多用。

多线示波器 采用多电子束示波管构成的示波器,在荧光屏上显示的每个波形是由单独的电子束所产生。适用于高速多路信号的实时显示。

存储示波器 具有存储信息功能的示波器。它利用模数转换器将信号波形信息变或数字量存入存储器中;通过接口电路可将数字量输出或经数模转换器将数字量变成模拟量由通用示波管显示出来,又称数字存储示波器。

用途 电子示波器具有工作频率范围宽、瞬态响应速度快、灵敏度高、输入阻抗较高、显示直观等优点,在电力技术领域中获得广泛应用。它不仅能定性地观

察电系统的动态过程,还可以定量测量各种电参量。例如正弦波电压的幅值、周期,脉冲电压的宽度、上升时间等。如果对示波器加以调整或改制,还可以显示电路或器件的特性曲线或幅频特性曲线等。若借助于各种传感器,则可以显示出诸如温度、压力、振动、加速度等非电量信号。

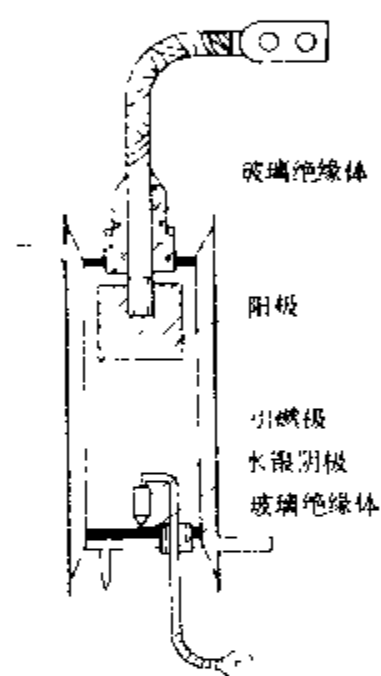
示波器是电子学中使用最广泛的工具之一,也是进行科学研究和工程实验必备的显示仪器,目前正向多功能化、数字化、智能化方向发展。

(张乃国)

yinranguan

引燃管 (ignitron) 借助于浸在水银阴极内的引燃极激励阴极辉点以起燃的一种汞弧管。

结构 一种金属引燃管结构如图所示。管壳是一个



个不锈钢管,固定在金属柱上的实心石墨为阳极,管壳底部为水银阴极,其上浸入的由高阻半导体材料制成的尖头小柱棒为引燃极,电极之间用玻璃绝缘。

工作原理 当脉冲电流通过引燃极和水银阴极时,在间隙之间引起火花,接着产生辅助电弧,在引燃极附近阴极上产生发射电子的阴极辉点。在阳极正电场作用下,高速电子使水银蒸气电离,在阳极

与阴极之间形成弧光放电。调节引燃极和阳极之间的相位差,就可以改变引燃管的着火电压,从而达到控制阳极导通时刻和改变输出电压和电流的目的。引燃极

起着控制栅极的作用。

特点和用途 引燃管的特点是电流容量大,峰值负载强,但存在点燃功率大,引燃极寿命有限的严重缺点,用于电焊机和可控整流器。由于功率半导体器件的发展,20世纪60年代以后引燃管已逐渐被晶闸管取代。

(张志清)

yingbian dianzu cailiao

应变电阻材料 (strain sensitive resistance materials) 对应变效应敏感的电阻材料。这种材料在受到拉伸或压缩时,其电阻值会随应变而发生变化。

1856年W. 汤姆森(W. Thomson)发现金属材料的应变效应,1937年制成第一片应变片后,某些金属和合金材料便用于制作应变电阻元件。1954年C. S 斯密司(C. S. Smith)发现锗和硅有压阻效应后,半导体就成为这类材料中的新材料。常用的金属(合金)应变电阻材料有镍铜合金、锰铜合金、镍铬铝合金、镍铬合金和铂铱合金等。它们的应变系数约为2~3,电阻温度系数小,工作温度范围宽,稳定性好等。半导体应变电阻材料主要有硅、锗、砷化镓、锑化钢等。半导体的应变系数大(50~200)、响应快、可靠性高,但温度系数较大、工作温度范围较窄。

应变电阻材料用于制造电阻应变元件和应变式传感器,广泛用于检测应力、应变,测量和控制力、扭矩、位移、加速度等。这种材料的制品种类繁多、性能各异。各种应变元件的性能见表。测量各种条件下的应力、应变时,应选用不同的应变元件;注意应变元件的贴装方法;高温、高压测量时,应消除温度或压力效应的影响。

应变电阻材料的发展趋势主要是开发半导体材料,特别是各种二元、三元化合物半导体和其他无机(包括半导体陶瓷)和有机半导体材料。

各种应变元件的性能

名称	应变系数	电阻值 (Ω)	应变系数的温度系数 ($\times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$)	电阻温度系数 (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)	工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	最大应变 ($\times 10^{-5}$)
体型金属	1.8~2.2	60~1000	≈ 0	± 20	-270~+650	50000
金属薄膜	1.8~20	10~10000	≈ 0	± 20	-	4000~6000
体型半导体	-80~+150	60~10000	-1.1~-4.5	700~7000	-30~+250	4000
扩散及外延型硅半导体	-80~+150	100~10000	-1.1~-4.5	700~7000	-30~+150	4000
半导体薄膜	30	120~1000	≈ 0.5	-200	-150~+200	2000~3000

参考书目

王洪业. 传感器技术. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985

Brindley K. Sensors and Transducers. Redwood

Burn Ltd, 1988

(孟中岩 吕乃康)

yongci cailiao

永磁材料 (permanent magnetic materials; magnetically hard materials) 具有高矫顽力的磁性材料, 亦称硬磁材料。其特点是: 剩磁高, 矫顽力强, 磁滞回线的矩形比, 即 B_r/B_m 大, 而积大, 主要用

于制造永久磁铁。通常用最大磁能积 $(BH)_{\max}$ 来衡量永磁材料单位体积内所贮藏的磁能,用来判断永磁材料的优劣。常用的永磁材料有铝镍钴磁钢、铁氧体永磁和稀土钴磁铝等。

(1) 铝镍钴磁钢:最常用的磁钢。

(2) 铁氧体永磁:有钡铁氧体和锶铁氧体两种。铁氧体的剩磁虽较低,但矫顽力很强。

(3) 稀土钴磁钢:特性优良,最大磁能积大。

永磁材料广泛用于电机、仪表、电子、机械、通信、医疗及家用电器等各个领域,如用于制造永磁电机的磁极、电话受话器、扬声器、磁电系仪表、磁性轴承、磁分离器、磁控管等。

(黄嘉豫)

you zhong yanmian fengdian

油中沿面放电 (surface discharge in dielectric oil) 绝缘油中沿着油和固体电介质分界面发生的电晕、滑闪、闪络放电现象。油中沿面放电的规律性与气体中的沿面放电相似。通常,这种放电现象发生在分界面处的油中,仅当固体电介质质量不高时,才会在面电介质表层内部发生放电。根据分界面附近的电场分布情况,油中沿面放电有两种类型:弱垂直场强分量沿面放电及强垂直场强分量沿面放电。

弱垂直场强分量沿面放电 电场强度几乎与油和固体电介质分界面平行、垂直分量很小时的油中沿面放电现象。固体电介质的存在并不改变电极间油击穿的路径,沿面闪络电压与纯油间隙击穿电压相比下降不多。增加极间距离,改善电场分布,可提高油中沿面闪络电压。固体电介质受潮后,沿面闪络电压下降。

强垂直场强分量沿面放电 电场强度与油和固体电介质分界面斜交、垂直分量较大时的油中沿面放电现象。固体电介质的存在改变了电极间油击穿的路径。由于电场强度不仅有沿面分量,而且有较强的垂直分量,所以放电发展过程中会出现滑闪放电现象。出现滑闪后,放电迅速发展,很快导致闪络。在这种情况下,增加电极间的沿面距离,沿面闪络电压提高并不显著。采用使滑闪放电起始电压升高的措施,可提高油中沿面闪络电压。

沿着绝缘油和固体电介质分界面发生放电时,不仅绝缘油会劣化变质,固体材料表面损坏也是常有的现象。开始时,放电只在油中发生,但是放电产生的热作用和剧烈的压力变化使固体电介质内产生气泡。在一次次放电的作用下,固体电介质会出现分层、开裂现象,这时放电有可能发生在固体电介质内部,使绝缘的击穿电压下降。

(谈克雄)

youxiaozhi

有效值 (effective value) 在规定的时间内,一个量的各瞬时值的平方的平均值的平方根值,又称为方均根值。对于周期量,时间间隔为一个周期。有效值是周期量的一个主要数字特征。例如家用电器的额定电压为 220 V,便是指的有效值。以周期电压 $u(t)$ 为例,它的有效值为

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

正弦量的有效值 以正弦电压为例: $u(t) = U_m \times \sin(\omega t + \varphi)$, 其中 U_m 、 ω 和 φ 分别为其最大值、角频率和初相角,则有效值 $U = U_m / \sqrt{2}$ 。

非正弦周期量的有效值 非正弦周期量的有效值等于它的直流分量、基波和各次谐波有效值平方之和的平方根值。若将直流分量和基波分别当作零次和一次谐波看待, U_n 为第 n 次谐波的有效值,则非正弦电压的有效值 U 为

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} = \sqrt{\sum_{n=0,1,2,\dots} U_n^2}$$

对于非正弦电流的有效值 I 也有类同的关系式

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} = \sqrt{\sum_{n=0,1,2,\dots} I_n^2}$$

(孙树勤)

youyuanluboqi

有源滤波器 (active filter) 由 RC 无源两网络和集成运算放大器组成的具有滤波功能的电子线路。它只允许一定频率范围内的信号通过,而对该频率范围外的信号则加以阻止或削弱。允许通过的信号频率范围叫通带,被阻止或削弱的信号频率范围叫阻带;通带和阻带的边界频率叫截止频率。有源滤波器广泛应用于自动控制、信号处理和检测仪表中,它是应用极为普遍的电子线路之一。

有源滤波器按幅频特性 可以分为低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器;而根据由通带缓变到阻带的衰减率又可将上述各种滤波器分为一阶的、二阶的或更高阶的。理想的有源滤波器在通带内应有相同的增益,在阻带内应有零增益。

低通滤波器 其幅频特性如图 1(a) 所示。当 $f < f_h$ 时为通带;当 $f > f_h$ 时为阻带。 f_h 叫上限截止频率。 $|A|$ 为增益的幅值。通带的带宽 $BW = f_h$ 。

高通滤波器 其幅频特性如图 1(b) 所示。当 $f > f_l$ 时为通带,当 $f < f_l$ 时为阻带。 f_l 称下限截止频率。通带的上限截止频率理论上为 $f_h = \infty$,但是,由于运算放大器的实际带宽不可能为无穷大,所以,高通滤波器的带宽也是有限的。

带通滤波器 其幅频特性如图 1(c)所示。当 $f_1 < f < f_h$ 时为通带,其余为阻带。带宽 $BW = f_h - f_1$, 中心频率为 $f_0 = \frac{1}{2}(f_1 + f_h)$ 。

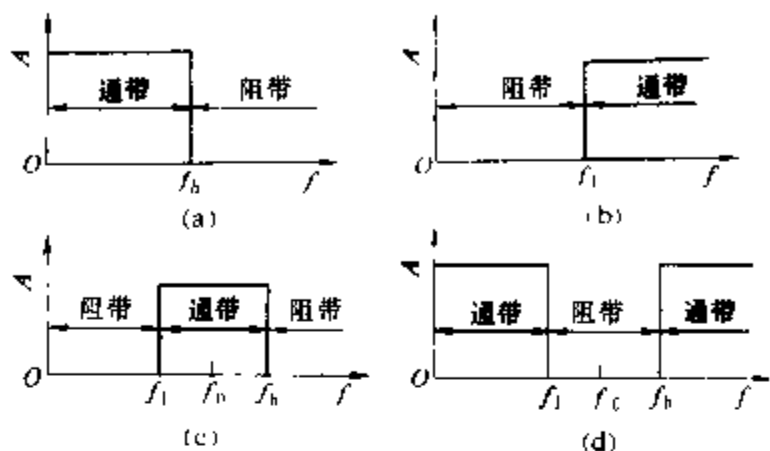


图 1 滤波器的理想幅频特性

(a)低通滤波器;(b)高通滤波器;(c)带通滤波器;
(d)带阻滤波器

带阻滤波器 其幅频特性如图 1(d)所示。它含一个阻带和两个通带。当 $f_1 < f < f_h$ 时为阻带,当 $f < f_1$ 和 $f > f_h$ 时为通带。如前所述,由于运算放大器的带宽有限,故 $f > f_h$ 这个通带范围也是有限的。此外,阻带的中心频率为 $f_0 = \frac{1}{2}(f_h + f_1)$ 。

图 1 所示的幅频特性中,通带与阻带的交越处均为阶跃跳变,实际的幅频特性都有一个缓变过程,交越处的缓变速度和滤波器的阶数有关。

一阶低通有源滤波器 图 2(a)为一阶低通滤波器电路图。由 R 、 C 组成一阶无源滤波两络,运算放大器接成同相输入放大电路。由于同相输入放大电路具有极高的输入电阻和很低的输出电阻,故运算放大器在信号源 U_i 与滤波器的负载之间起缓冲和放大作用。

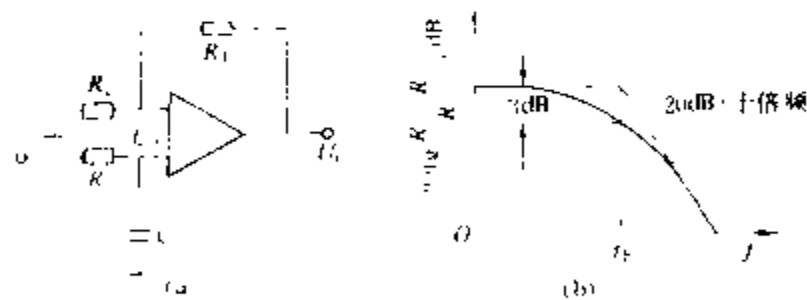


图 2 一阶低通有源滤波器

(a)电路图;(b)幅频特性伯德图

图 2(a)中,同相输入端的电压 $U_P(s)$ 为 $U_P(s) = \frac{1}{SC} U_i(s)$, 运算放大器的输出电压为 $U_o(s) = \frac{R_1 + R_f}{R_1} U_P(s)$ 。其传递函数为

$$A_f(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \times \frac{1}{1 + SRC} \quad (1)$$

上式用频域表示,即用 $j2\pi f$ 代替 s ,且令 $2\pi f_h = \frac{1}{RC}$,得 A_f 的幅值为

$$|A_f(f)| = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_h}\right)^2}} \quad (2)$$

$f_h = \frac{1}{2\pi RC}$ 称为上限截止频率。由式 (2) 可见: 当 $f = 0$ 时,滤波器的直流增益为 $20\lg |A_f(0)| = 20\lg \left(\frac{R_1 + R_f}{R_1} \right)$ dB; 当 $f = f_h$ 时,滤波器的实际增益为 $20\lg |A_f(f_h)| = 20\lg \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{R_1 + R_f}{R_1} \right)$ dB。图 2(b) 为按式 (2) 画出的幅频特性伯德图,实线所示曲线为实际的幅频特性,虚线所示的折线为近似的幅频特性;当 $f = f_h$ 时,两者相差 3 dB,由通带缓变到阻带的衰减率为 -20 dB/十倍频,常记作 -20 dB/dec。图 2(a) 之所以称为一阶低通有源滤波器电路是因为它的传递函数方程 [式 (1)] 中的分母运算符 s 为一次方的缘故。

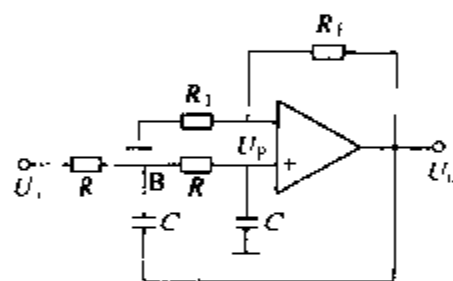


图 3 二阶有源低通滤波器电路图

二阶有源低通滤波器 一阶低通滤波器中通带缓变到阻带的衰减率为 -20 dB/dec,在有些情况下是不够的。例如要求衰减得更快些,如 -40 dB/dec。这就要采用二阶有源滤波器,如图 3 所示。其传递函数为

图 3 所示。其传递函数为

$$A_{uf}(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{A_{uf} \left(\frac{1}{RC} \right)^2}{s^2 + (3 - A_{uf}) \frac{1}{RC} s + \left(\frac{1}{RC} \right)^2} \quad (3)$$

式中 $A_{uf} = \frac{R_1 + R_f}{R_1}$ 。令 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ 和 $\alpha = 3 - A_{uf}$, 则式 (3) 可写成

$$A_{uf}(s) = \frac{A_{uf} \omega_0^2}{s^2 + \alpha \omega_0 s + \omega_0^2} \quad (4)$$

α 称为阻尼系数, ω_0 称为固有频率或谐振频率。因式 (4) 分母中的运算符 s 为二次方,故称为二阶滤波器。

设式 (4) 的特征方程 $s^2 + \alpha \omega_0 s + \omega_0^2 = 0$ 的二个极为 p_1 和 p_2 , 则 $s^2 + \alpha \omega_0 s + \omega_0^2 = (s - p_1)(s - p_2)$, 而

$$p_{1,2} = -\frac{\alpha \omega_0}{2} \pm \frac{\omega_0}{2} \sqrt{\alpha^2 - 4} \quad (5)$$

式 (5) 有下列三种情况:

(1) 当 $\alpha = 2$ 时, $p_{1,2} = -\omega_0$ 为二个重实根。式

(4) 可写成 $A_{uf}(s) = \frac{A_{uf} \omega_0^2}{(s + \omega_0)(s + \omega_0)}$, 显然,它相当于

两个时间常数相同的一阶低通滤波器串联。

(2) 当 $\alpha > 2$ 时, $p_{1,2} = -\frac{\alpha\omega_0}{2} \pm \omega_0 \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} - 1}$, 为二个不重合的实根。它相当于二个时间常数不同的一阶低通滤波器串联。

(3) 当 $\alpha < 2$ 时, $p_{1,2} = -\frac{\alpha\omega_0}{2} \pm j\omega_0 \sqrt{1 - \frac{\alpha^2}{4}} = \sigma \pm j\omega_d$, 为一对共轭根。式 (4) 写成象函数为

$$A_{UL}(s) = \frac{1}{(s - \sigma - j\omega_d)(s - \sigma + j\omega_d)} \\ = \frac{1}{(s - \sigma)^2 + \omega_d^2}$$

上式对应的原函数为

$$A_{UL}(t) = \frac{1}{\omega_d} e^{\sigma t} \sin \omega_d t \quad (6)$$

式 (6) 表明图 3 所示电路能稳定工作的必要条件是 σ 必须为负值, 否则, $e^{\sigma t}$ 将越来越大, 电路将进入增幅振荡而不能正常工作。因 $\sigma = -\frac{1}{2}\alpha\omega_0$, 故 $\alpha = 3 - A_{UP}$ 必须为正值, 即 $A_{UP} < 3$ 。

式 (4) 所示的幅频特性伯德图如图 4 所示。阻尼系数 α 的值不同, -3 dB 的频带宽和增益的峰值也就不同。

图 3 电路中, 左边的电容之所以接到运算放大器的输出端而不接地, 是因为这样可以在 $\frac{\omega}{\omega_0} = 1$ 附近, 由于相位移的变化, 引入一定值的正反馈,

从而提高了增益, 拓宽了幅频特性的平坦部分, 展宽了 -3 dB 频带宽。

由图 4 可看出, 由通带变到阻带的增益衰减率为 -40 dB/dec, 较一阶时增加了一倍。如果要求有更快的衰减率, 可采用

3 阶 4 阶或更高阶的滤波器。高阶滤波器一般都由一阶或二阶的滤波器串联组成。

二阶有源高通滤波器 把图 3 中的电阻 R 和电容 C 的位置互换, 就构成了二阶高通有源滤波器, 如图 5 (a) 所示。设运算放大器为理想元件, 则 $A_{UP} = \frac{U_o}{U_p} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$, 传递函数为

$$A_{UH}(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{A_{UP}s^2}{s^2 + \alpha\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (7)$$

式中 $\alpha = 3 - A_{UP}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ 。

二阶有源带通滤波器 电路如图 5(b) 所示。它是由一个高通和一个低通有源滤波器串联组成。 R_1 、 C_2 组成低通两路, C_1 、 R_3 组成高通网络。图 5(b) 所示电路的传递函数为

$$A_{UB}(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = A_{UP} \left(\frac{1}{R_1 C_2} \right) s \left\{ \frac{1}{s^2 + s \left[\frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_2 C_2} (1 - A_{UP}) \right] + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}} \right\} \quad (8)$$

式中, $A_{UP} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$; $\omega_0^2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}$ (ω_0 称为中心频率);

$$\alpha = \frac{R_1 R_2 (C_1 + C_2) + C_1 R_3 [R_2 + R_1 (1 - A_{UP})]}{\sqrt{R_1 + R_2} \sqrt{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}}$$

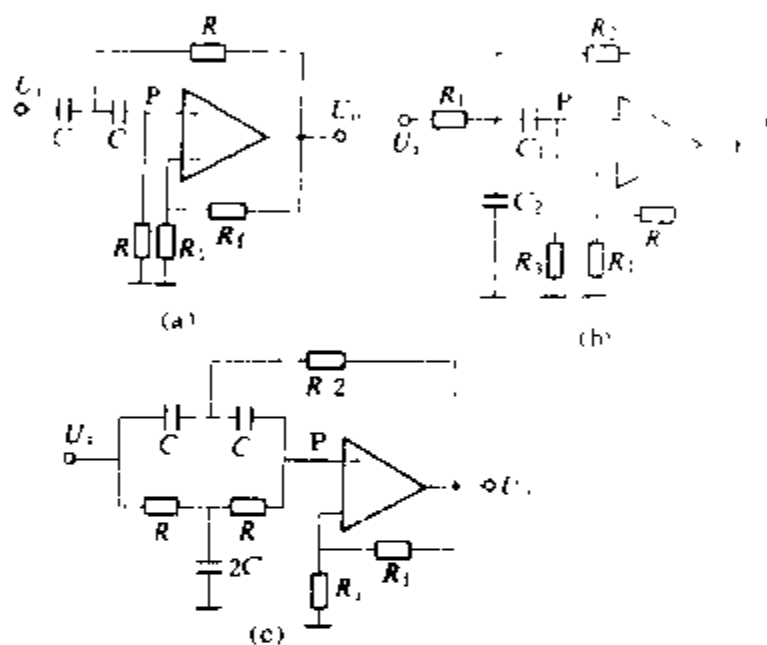


图 5 二阶有源滤波器电路图

(a) 高通滤波器; (b) 带通滤波器; (c) 带阻滤波器

二阶带阻有源滤波器 电路如图 5(c) 所示。它是由一个双 T 两网和一个运算放大器组成, 双 T 网络起选频作用。输入信号 U_i 和选频网络的输出电压 U_p 之间的关系为: 当频率较低时, $2C$ 的容抗极大, 故 U_i 经过两个 R 传输到 U_p , 因运算放大器系同相输入接法, 其输入阻抗远大于 $2R$, 故 $U_p \approx U_i$ 。当频率较高时, 由于两个串联的电容的容抗几乎为零, 故 $U_p \approx U_i$ 。当频率等于中心频率 ω_0 时, U_i 与 U_p 间的等效阻抗变得很大, 使得 $U_p \approx 0$, 从而使 ω_0 附近的信号不能通过双 T 两网, U_o 中自然不包含 ω_0 附近的信号分量, 呈带阻状态, 经推导可得

$$A_{UI}(\omega) = \frac{U_o(\omega)}{U_i(\omega)} = \frac{A_{UP} \left[1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]}{1 + \alpha \frac{j\omega}{\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right)^2} \quad (9)$$

式中 $A_{UP} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$, $\alpha = 2(2 - A_{UP})$ 。

二阶有源滤波器有各种各样的电路。其传递函数的一般表达式为

$$A_U(s) = \frac{b_0 s^2 + b_1 s + b_2}{s^2 + a_1 s + a_2} \quad (10)$$

从式(10)可归纳出下列各点:

(1) 分母中各系数 a_1 、 a_2 必须为正, 否则系统不稳定; a_1 、 a_2 的数值决定了滤波器的性能。

(2) 分子中各系数 b_0 、 b_1 、 b_2 之值决定了滤波器的类型: ① $b_0 \neq 0$, $b_1 = b_2 = 0$ 时, 为高通滤波器; ② $b_0 = b_2 = 0$, $b_1 \neq 0$ 时, 为带通滤波器; ③ $b_0 \neq 0$, $b_2 \neq 0$, $b_1 = 0$ 时, 为带阻滤波器; ④ $b_0 = b_1 = 0$, $b_2 \neq 0$ 时, 为低通滤波器; ⑤ $b_0 \neq 0$, $b_1 \neq 0$, $b_2 \neq 0$ 时, 为全通滤波器。

(何金茂)

youshou dingze

右手定则 (right-hand rule) 见电磁感应。

yu、huo、fei、yihuomen

与、或、非、异或门 (AND, OR, NOT, exclusive OR gates) 实现与、或、非、异或等逻辑关系的门电路。它们是几种常用的逻辑门。

与门 若决定某一件事的所有条件都成立, 这件事就发生, 否则这件事就不发生, 这样的逻辑关系称为“与逻辑”。符合与逻辑关系的门电路叫做“与门”。

例如图1中灯EL亮的条件是开关S1和S2都闭合。若以 $A=1$ 、 $B=1$ 分别表示开关S1、S2闭合, $A=0$ 、 $B=0$ 分别表示开关S1、S2断开, $L=1$ 表示灯亮, $L=0$ 表示灯灭, 则可列出输入变量A、B的各种取值的组合和输出变量L的对应关系, 如表1的真值表所示。

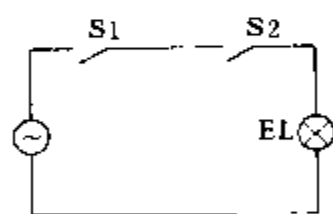


图1 与逻辑电路

表1 与逻辑的真值表

A	B	L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

从表1可以看出: L为真(即 $L=1$) 的条件, 是A与B都为真(即 $A=1$ 且 $B=1$)。与逻辑的表达式为 $L = A \cdot B$ 。

一个由二极管构成的与门电路及其逻辑符号如图2所示。

或门 决定某一件事的诸条件中只要

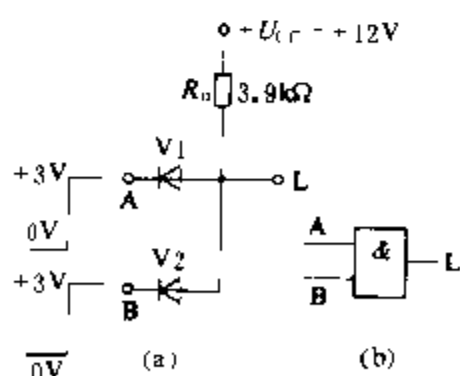


图2 与门

(a) 电路; (b) 逻辑符号

有一个成立, 这件事就发生, 否则就不发生, 这样的逻辑关系称为“或逻辑”。符合或逻辑关系的门电路叫做“或门”。

例如图3中只要开关S1或S2闭合, 灯EL就亮。

或逻辑的真值表如表2所示。从表2中可以看出: 只要 $A=1$ 或者 $B=1$, L就为1。或逻辑的表达式为 $L = A + B$ 。

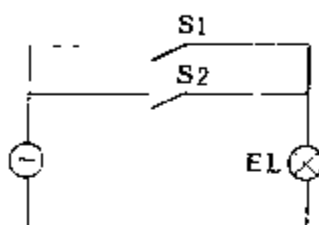


图3 或逻辑电路

表2 或逻辑的真值表

A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

一个由二极管组成的或门电路及其逻辑符号如图4所示。

非门 某件事的发生取决于某个条件的否定: 条件成立, 这件事不发生;

条件不成立, 这件事反而会发生。这样的逻辑关系称为“逻辑非”, 符合逻辑非关系的门电路叫做“非门”。

例如图5中, 开关S闭合, 灯EL熄灭; S断开, 灯EL亮。逻辑非的真值表如表3所示。其逻辑表达式为 $L = \bar{A}$ 。

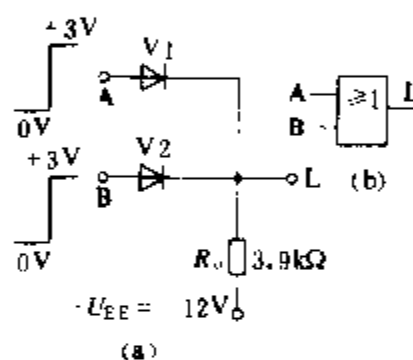


图4 或门

(a) 电路; (b) 逻辑符号

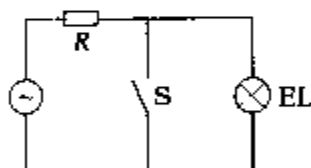


图5 逻辑非电路

表3 逻辑非的真值表

A	L
0	1
1	0

一个由三极管构成的非门电路及其逻辑符号如图6所示。

异或门 “异或逻辑”关系是指: 当两个逻辑自变量取值相异时, 函数为1; 反之, 当自变量取值相同时, 函数为0。或者说: 当两个输入信号相异时有输出, 而相同时没有输出。

符合异或逻辑关系的门电路叫做“异或门”。异或逻辑的表达式

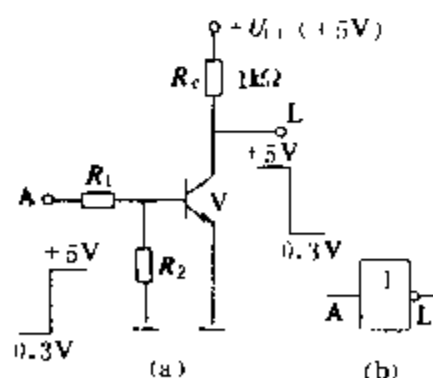


图6 非门

(a) 电路; (b) 逻辑符号

为

$$L = A\bar{B} + AB = A \oplus B$$

图 7 为异或门的逻辑符号, 表 4 是其真值表。

表 4 异或门真值表

A	B	$L = A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

图 7 异或门的逻辑符号

门电路除了上述的与、或、非、异或门外, 常用的还有与非、或非、与或非等门电路。所有门电路都有系列化集成电路产品供选用。

(汤之璋)

yuce

预测 (forecasting) 见卡尔曼滤波。

yuansu bandaoti cailiao

元素半导体材料 (element semiconductor materials) 由单一元素组成的半导体材料。元素周期表中有 12 种元素具有半导体性质, 它们是 B、C、Si、Ge、灰-Sn、P、灰-As、黑-Sb、S、Se、Te、I, 但大多数是不稳定的或制备困难, 只有锗 (Ge)、硅 (Si) 性质优越, 是当前广泛应用的半导体材料。此外, 硒 (Se) 也有一定的实用价值。

硅、锗是最重要的典型半导体材料, 均属金刚石型结构, 晶格常数分别为 0.357 nm 和 0.357 nm, 都是间接带隙半导体。硅的导带底位于 $\langle 100 \rangle$ 方向布里渊区内 $0.8k_{\max}$ 处 (k_{\max} 为 $\langle 100 \rangle$ 方向布里渊区边界长度); Ge 的导带底位于 $\langle 111 \rangle$ 方向布里渊区边界上。导带底附近均为旋转椭圆形等能面。硅的纵向和横向有效质量分别为 $0.98 m$ 和 $0.19 m$, 锗的分别为 $1.64 m$ 和 $0.082 m$, m 为电子惯性质量。两者的价带顶均位于 $k=0$, 且是简并的。重空穴和轻空穴有效质量: 硅为 $0.53 m$ 和 $0.16 m$; 锗为 $0.36 m$ 和 $0.044 m$ 。室温下, 禁带宽度 E_g : 硅为 1.12 eV ; 锗为 0.67 eV 。本征载流子

硅、锗半导体中浅杂质的电离能 (eV)

半导体	施主				受主			
	P	As	Sb	Li	B	Al	Ga	In
硅	0.044	0.049	0.039	0.033	0.045	0.057	0.065	0.16
锗	0.0126	0.0127	0.0096	0.0093	0.01	0.01	0.011	0.011

浓度: 硅为 $1.5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$, 锗为 $2.25 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ 。高纯硅、锗的漂移迁移率分别为 $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 480 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ 和 $\mu_n = 3900 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_p = 1900 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, 其中 μ_n 、 μ_p 分别表示电子迁移率和空穴迁

移率。本征电阻率: 硅为 $2.5 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$; 锗为 $0.47 \Omega \cdot \text{m}$ 。

硅和锗中掺入施主或受主杂质后可形成以电子导电为主的 N 型或以空穴导电为主的 P 型半导体材料, 某些浅施主和浅受主杂质电离能如表所示。

此外, 还有许多元素在硅、锗中形成若干个深能级, 起复合中心或陷阱的作用。如铜、银、金在锗中各有三个受主能级, 金还有一个施主能级; 硅中铜有三个受主能级, 银、金各有一个受主能级和一个施主能级。锌、镉在硅、锗中均有两个受主能级; 磷、硒、碲在锗中各有两个施主能级, 在硅中磷有三个施主能级, 碲有两个施主能级等。

硅、锗熔点分别为 1412°C 和 958°C 。通过化学提纯、物理提纯后, 可用直拉法、区域熔化等方法制成单晶体, 通过扩散、离子注入等方法制备 PN 结, 以制作各种半导体器件和集成电路。

硒有非晶态、单斜晶系晶态红硒和六方晶系晶态灰硒三种同素异形体, 其熔点为 220°C , 加热至 $180 \sim 220^\circ \text{C}$ 均形成最稳定的六方晶体。晶格常数 $c = 0.496 \text{ nm}$, $a = b = 0.436 \text{ nm}$ 。非晶态硒基本为绝缘体, 禁带宽度 E_g 为 1.8 eV , 电阻率约为 $10^3 \Omega \cdot \text{m}$, 迁移率约 $1 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$, 掺杂后电阻率可降到 $10 \Omega \cdot \text{m}$ 。硒可用作整流器, 利用其光电效应可制作光电池和电子照相用的硒鼓。

(刘恩科)

yuantu

圆图 (circle diagram) 正弦电流电路中某一电路参数连续变化时, 某些稳态电压或电流相量或其他复数量的末端在复平面上描出的圆形轨迹。此轨迹也可以是直线, 因为直线可看成是半径为无限大的圆的一部分。电路参数指的是电阻、电感、电容、频率等量。通过圆图, 可以观察到参数变化时电压或电流等量变化的全貌。必要时还可以在图上定量地求得某些感兴趣的电压、电流、功率、效率、转矩 (旋转电机的圆图) 等物理量的大小。研究异步电机时, 常应用圆图。

另一种常用的圆图, 是研究无损耗传输线的史密斯图, 它表示传输线路开路或短路时, 入端阻抗 (或导纳) 随传输线长度变化的轨迹。

作圆图时, 先根据电路定律写出所研究的量 X 和可变实参数 k 之间的关系。

若 $X = (A + Bk) / (C + Dk)$, 其中 A 、 B 、 C 、 D 是不变的复数, 则 k 连续变化时 X 的末端轨迹就是圆, $D=0$ 时是直线。下面举例说明。

RC 串联电路的圆图 电阻 R 和电容 C 串联接到

正弦电压上, 电源电压相量是 $\dot{U} = U \angle 0^\circ$, 频率为 f 。设 U 、 f 、 C 是不变的参数, 则电抗 $X = 1/(2\pi fC)$ 也是不变的。令电阻 R 是可变参数。此时, 串联电路的阻抗 $Z = R - jX$, 随参数 R 变化。串联电路的电流 \dot{I} 和电容电压 \dot{U}_C 分别是

$$\dot{I} = \dot{U} / Z = \dot{U} / (R - jX)$$

$$\dot{U}_C = -jX\dot{I} = -jX\dot{U} / (R - jX)$$

它们也随参数 R 变化。复数阻抗 Z 的变化轨迹是图 1

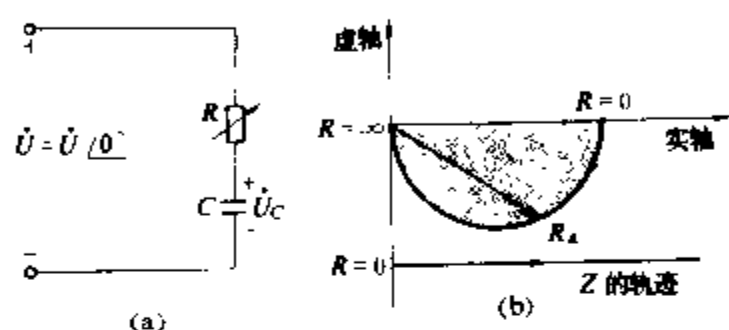


图 1 RC 串联电路中 Z 和 \dot{U}_C 的轨迹
(a) 电路图; (b) 圆图

中的直线。相量 \dot{U}_C 末端的轨迹是图 1 中的半圆, 半圆的直径等于电源电压的有效值 U 。直线和半圆上的箭头代表参数 R 增加时 Z 和 \dot{U}_C 的变化方向。图中还画出了 $R = R_0$ ($\infty > R_0 > 0$) 时的 \dot{U}_C 相量。

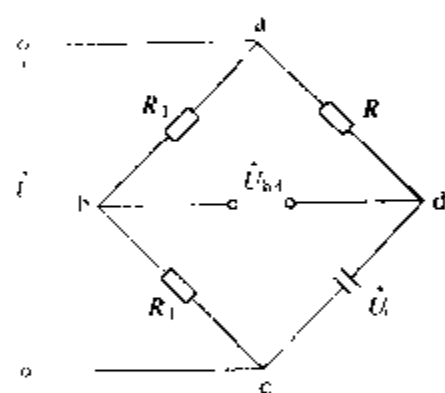


图 2 移相电桥

移相电桥的圆图
图 2 所示为移相电桥。电桥输出电压 \dot{U}_{bd} 的有效值能维持不变, 但其相位随着电阻 R 的变化而变化, 从而达到改变相位的目的。图中, $\dot{U} = U \angle 0^\circ$ 是电源电压。两个相同电阻 R_1 串联, 每个电阻上的电压是 $\dot{U}/2$, 是不变量。另外, 不变电容 C 和可变电阻 R 串联, 电阻变化时, 电容电压的轨迹为一半圆。输出电压 \dot{U}_{bd} 是

$$\dot{U}_{bd} = \dot{U}_{bc} - \dot{U}_{dc} = \dot{U}/2 - \dot{U}_{dc}$$

\dot{U}_{dc} 即电容电压。 R 变化时, \dot{U}_{bd} 相量末端的轨迹是图 3 中的半圆, 圆心在原点。当 R 自 0 变至 ∞ 时, 可以得到有效值不变 (相当于圆半径不变) 而相位作 180° 变化

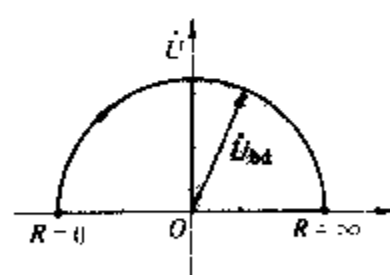


图 3 移相电桥的圆图

的输出电压 \dot{U}_{bd} 。

(江慰德)

yunmu

云母 (mica) 一种铝代硅酸盐天然矿物。可分割成厚度为 0.01~0.03 mm 的柔软而富有弹性的薄片。其电气绝缘强度高, 耐热、耐腐蚀和耐电晕性好。电工上常用的是白云母 ($K_2O \cdot 3 Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2 \cdot 2 H_2O$) 和金云母 ($K_2O \cdot 6 MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6 H_2O$)。白云母的电气绝缘性能优于金云母, 而金云母的耐热性优于白云母。除天然云母外, 还有人工合成的氟金云母, 其成份与金云母类似, 只是用氟代替了氢氧基。它由 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 K_2O 、 K_2SiF_6 等原料在 $1450^\circ C$ 左右的温度熔融后, 经缓慢冷却结晶而成。合成云母不含结晶水, 纯度高, 其耐热性、耐热冲击性和电气绝缘性能均优于天然云母, 但价格较高。

优质天然云母蕴藏量少, 且加工过程中损失率很高, 因此促进了粉云母技术的开发。粉云母是利用天然云母碎片在 $750 \sim 800^\circ C$ 下煅烧后, 再进行酸处理、制浆、抄纸等过程制成, 或通过高压水粉碎天然云母, 经水洗、抄纸等过程制成。粉云母不仅厚度均匀、性能良好, 而且大大提高了云母矿料的利用率, 降低了成本。

云母片可直接用作绝缘材料, 但更多的是用云母片或粉云母与胶粘剂、补强材料一起制成各种云母制品, 包括电机绝缘用的云母带、衬垫或换向器用的云母板、磁板绝缘用的云母箔等。此外, 还有由云母粉与低软化温度的硼铅玻璃经热熔、模压、成型而制成的云母玻璃, 可用作高压电器的耐弧、耐高温绝缘材料。

(陈寿田)

yunsuanqi

运算器 (arithmetic unit) 计算机中执行各种算术和逻辑运算的部件, 亦称算术逻辑部件 (ALU)。运算器的基本操作包括加、减、乘、除四则运算, 与、或、非、异或等逻辑运算以及移位、比较等操作。对一个特定的处理机, 运算种类、运算速度和运算精度是运算器, 甚至计算机本身性能的综合反映。

数据与运算器 运算器的处理对象是数据, 数据表示方法和长度直接影响运算器的性能和结构。按记数制分有二进制运算器、十进制运算器等; 按负数的表示方法分, 有原码运算器 (符号位与数值部分分别处理) 和补码运算器 (符号位作为数值的一部分统一处理); 按小数点的表示方法分, 有定点数运算器和浮点数运算器。

运算器一次能处理的数据长度 (二进制位的个数) 是运算器能力的重要标志。如果一次只能处理一位的,

称串行运算器；若一次能处理4位、8位、16位、32位甚至64位的称并行运算器；若一个完整的数据分成几段处理的称串-并行运算器；若处理的数据长度是固定的，称定字长运算器；若处理的数据长度不定的，如半字长、双倍字长，四倍字长等，称可变字长运算器。

运算器的操作 运算器最基本的操作是加法。由一个并行加法器和一些输入控制门能构成一个加/减运算器。将一个数B的代码求补，与另一个数A相加，即能实现 $A-B$ 的操作。比较操作是通过判断两数相减后的状态而实现的。

左右移位也是运算器的基本操作。在带符号的数中，符号位不动而只移动数据位的，称算术移位；若符号位和数据位一起移动的，称逻辑移位；若将数据的最高位和最低位连接后一起移动的，称循环移位。

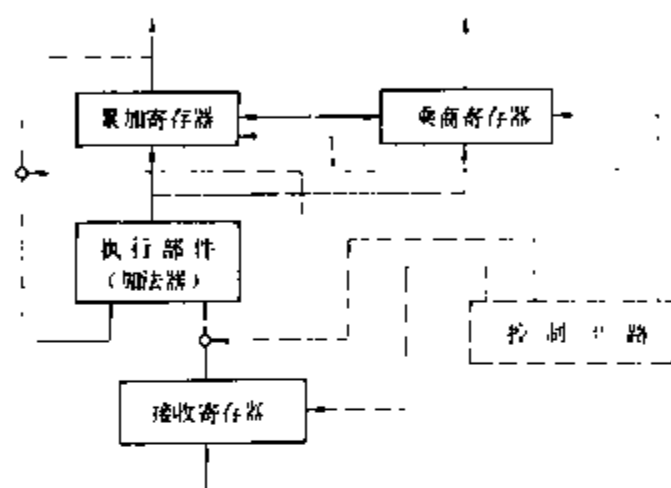
乘、除运算是以加、减和移位操作为基础的。由乘数的一位或几位控制，将被乘数逐次累加并移位，即能实现乘法运算；将被除数和除数逐次相减并移位，根据余数符号确定商的值，即能实现除法运算。

除四则运算外，有的运算器还能执行求平方根，从一批数据中寻求最大数，对一批数据连续执行相同操作等复杂运算。

运算器的逻辑操作是两个数据按位进行的。二值变量之间的逻辑操作有十六种。常用的为与、或、非和异或等。

运算器结构 运算器结构与操作种类密切相关。

简单的运算器只有加、减操作，乘、除运算由软件实现，其结构虽简单，但速度慢得多。具有加、减、乘、除操作的运算器包括寄存器和执行部件两部分。典型的运算器结构如图所示。有三种寄存器：接收并保存一个操作数的接收寄存器，保存另一个操作数和运算结果的累加寄存器和乘、除运算时存放乘数和商数的乘商寄存器。执行部件包括并行加法器和输入输出控制门电路。控制信号（图中虚线）是由处理器的控制器提供的。为了减少对存储器的访问，有的运算器设有多个通用寄存器，用于暂存中间结果。



简单的运算器结构

为了提高运算速度，某些大型计算机中采用阵列乘法器、倒数除法器快速乘除部件、流水线运算部件等。这种运算器结构比传统的复杂得多，但速度高。

（陶 欣）

Z

Z bianhuanfa

Z 变换法 (Z transform method) 使用 Z 变换分析研究离散系统的数学方法。Z 变换在离散系统中的地位与作用, 类似于连续系统中的拉普拉斯变换。

Z 变换 连续信号 $x(t)$ 经采样得采样信号 $x_s(t) = \delta_T(t) x(t)$, 即 $x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t) \delta(t - nT) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT)$, T 为采样周期。对采样信号取拉普拉斯变换, 得 $X_s(s) = \mathcal{L}[x_s(t)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) e^{-nTs}$ 。

令 $e^{Ts} = z$, 并将 $X_s(s)$ 写成 $X(z)$, 得 $x_s(t)$ 的 Z 变换

$$\begin{aligned}\mathcal{Z}[x(t)] &= \mathcal{Z}[x_s(t)] = X(z) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT) z^{-n}\end{aligned}$$

上式称为双边 Z 变换。因为只考虑采样瞬时的信号值, 因而 $x(t)$ 的 Z 变换与 $x_s(t)$ 的 Z 变换相同。

在实际问题中, 总存在着一个起始点, 可令起始点为 $n=0$ 。于是, 可不研究 $n < 0$ 的情况, 而有

$$\mathcal{Z}[x(t)] = \mathcal{Z}[x_s(t)] = X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) z^{-n}$$

上式称为单边 Z 变换, 这是大量使用的。

在很多场合, 强调的是序列 $x(n)$, $n=0, 1, 2, \dots$, 就有

$$X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) z^{-n}$$

上面所定义的 Z 变换, 只有当级数收敛时才有意义。对于任意给定的有界序列 $x(n)$, 使 $X(z)$ 级数收敛的所有 z 值之集合, 称为 Z 变换 $X(z)$ 的收敛域。例如,

$$x(n) = \begin{cases} a^n & (n \geq 0) \\ 0 & (n < 0) \end{cases}$$

$$X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) z^{-n} = \sum_{n=0}^{\infty} (az^{-1})^n$$

$|z| > |a|$ 时级数收敛, $|z| > |a|$ 即其收敛域。

在离散系统、控制理论等有关书籍中, 列有 z 变换表。

Z 变换的基本性质 若已知 $X(z) = \mathcal{Z}[x(n)]$, $Y(z) = \mathcal{Z}[y(n)]$, 则有 (有相应的收敛域问题):

(1) 线性 $\mathcal{Z}[ax(n) + by(n)] = aX(z) + bY(z)$

(2) 位移性

$$\mathcal{Z}[x(n+m)] = z^m [X(z) - \sum_{k=0}^{m-1} x(k) z^{-k}]$$

$$\mathcal{Z}[x(n+1)] = zX(z) - zx(0)$$

(3) Z 域微分 $\mathcal{Z}[nx(n)] = -z \frac{d}{dz} [X(z)]$,

$$\mathcal{Z}[tx(t)] = -Tz \frac{d}{dz} [X(z)]$$

(4) Z 域尺度变换 $\mathcal{Z}[a^n x(n)] = X\left(\frac{z}{a}\right)$

(5) 初值定理 $x(0) = \lim_{z \rightarrow \infty} X(z)$

(6) 终值定理 $\lim_{n \rightarrow \infty} x(n) = \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1)X(z)]$

(7) 时域卷积定理

$$\mathcal{Z}[x(n) * y(n)] = X(z)Y(z)$$

Z 反变换 已知 $X(z)$ 及其收敛域, 反求序列 $x(n)$ 。Z 反变换的一般表达式为

$$x(n) = \mathcal{Z}^{-1}[X(z)] = \frac{1}{2\pi j} \oint_c X(z) z^{n-1} dz$$

式中 c 是在 $X(z)$ 的收敛域内的一条包围坐标原点逆时针方向的围线, 且 c 包围了 $X(z)$ 的所有奇点。在实际中, 通常 $X(z)z^{n-1}$ 是 z 的有理函数, 其奇点都是孤立奇点 (极点)。这样, 根据复变函数的留数定理, 可以把上述积分表示为围线 c 内所包含 $X(z)z^{-1}$ 的各极点留数之和, 即

$$x(n) = \sum_{\text{极点}} \text{Res}[X(z)z^{n-1}]_{z=z_m}$$

求 Z 反变换的方法有长除法、部分分式法和留数法。例如, $X(z) = \frac{10z}{(z-1)(z-2)}$, 求 $x(n)$ 。

方法一, 长除法: 将 $X(z)$ 的分子除以分母, 得

$$\begin{aligned}X(z) &= 10z^{-1} + 30z^{-2} + 70z^{-3} + 150z^{-4} + \dots \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} 10(-1+2^n)z^{-n}\end{aligned}$$

与 Z 变换定义式相对照, 得 $x(n) = 10(-1+2^n)$, $n=0, 1, 2, \dots$ 。

方法二, 部分分式法:

$$\text{由 } \frac{X(z)}{z} = \frac{10}{(z-1)(z-2)} = \frac{-10}{z-1} + \frac{10}{z-2}$$

$$\text{得 } X(z) = -\frac{10z}{z-1} + \frac{10z}{z-2}$$

$$\text{由 } \mathcal{Z}^{-1}\left[\frac{z}{z-1}\right] = 1, \mathcal{Z}^{-1}\left[\frac{z}{z-2}\right] = 2^n$$

$$\text{得 } x(n) = 10(-1+2^n), n=0, 1, 2, \dots$$

方法三, 留数法:

$$x(n) = \frac{1}{2\pi j} \oint_c \left[\frac{10z}{(z-1)(z-2)} z^{n-1} \right] dz$$

$$= \frac{1}{2\pi j} \oint_c \left[-\frac{10z^n}{z-1} + \frac{10z^n}{z-2} \right] dz$$

$$= \text{Res}\left[-\frac{10z^n}{z-1}\right]_{z=1} + \text{Res}\left[\frac{10z^n}{z-2}\right]_{z=2}$$

$$= 10(-1+2^n), n=0, 1, 2, \dots$$

三种方法的结果一致。

用Z变换求解线性常系数差分方程 先对原差分方程取Z变换,然后求未知数为z的代数方程的解,最后再作Z反变换可得差分方程的解。例如,差分方程为

$$x(n+2) + 3x(n+1) + 2x(n) = 0$$

$$x(0) = 0, x(1) = 1$$

取Z变换,有 $z^2 X(z) - z^2 x(0) - zx(1) + 3zX(z) - 3zx(0) + 2X(z) = 0$ 。代进初始数据并化简,得 $X(z) = \frac{z}{z^2 + 3z + 2} = \frac{z}{(z+1)(z+2)} = \frac{z}{z+1} - \frac{z}{z+2}$, 最后得 $x(n) = (-1)^n - (-2)^n, n = 0, 1, 2, \dots$ 。

参考书目

绪方胜彦著,现代控制工程,卢伯英等译,北京:科学出版社,1978
郑君里等编,信号与系统 下册,北京:人民教育出版社,1982

(李 菊)

Z chuandi hanshu

Z 传递函数 (Z transfer function) 零值初始条件下线性定常离散系统输出序列的Z变换与输入序列的Z变换之比。

单输入单输出线性定常离散系统的差分方程表达式为

$$\sum_{k=0}^N a_k y(n-k) = \sum_{r=0}^M b_r x(n-r)$$

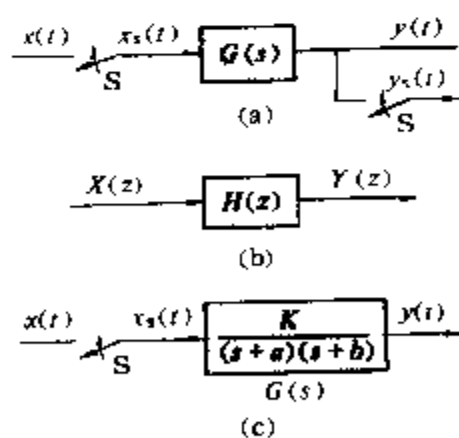
式中 a_k 和 b_r 为差分方程的系数; $x(n)$ 为输入序列; $y(n)$ 为输出序列。系统处于零值初始条件下,取Z变换,有

$$Y(z) \sum_{k=0}^N a_k z^{-k} = X(z) \sum_{r=0}^M b_r z^{-r}$$

从而得
$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{r=0}^M b_r z^{-r}}{\sum_{k=0}^N a_k z^{-k}}$$

$H(z)$ 即为线性定常离散系统的Z传递函数,图(b)示其输入-输出关系。

图(a)示一开环离散系统(采样数据系统)的框图。连续信号 $x(t)$ 被采样后得采样信号 $x_s(t)$,它作为系统的连续性部分[其传递函数为 $G(s)$]的输入量,输出量则为连续信号



离散系统和Z传递函数
(a)采样数据系统框图;(b)Z传递函数;(c)具有一个采样器的离散系统

$y(t)$ 。在输出端另有一个采样器,它在相位上与输入采样器同步,采样周期相同,则输出端有采样信号 $y_s(t)$ 。若无输出采样器,则假想有一个输出采样器(工作情况同上),于是即可研究 $x_s(t)$ 和 $y_s(t)$ 、 $X(z)$ 和 $Y(z)$ 的关系。

离散系统的Z传递函数 $H(z)$ 可依下列步骤求得:

- (1) 求系统的连续部分的传递函数 $G(s)$;
- (2) 求冲激响应函数 $g(t), g(t) = \mathcal{L}^{-1}[G(s)]$;
- (3) 求Z传递函数, $H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} g(nT)z^{-n}$ 。

例如,线性定常离散系统的框图如图(c)所示, $G(s) = \frac{K}{(s+a)(s+b)} = \frac{K}{b-a} \left\{ \frac{1}{s+a} - \frac{1}{s+b} \right\}$, $g(t) = \frac{K}{b-a} (e^{-at} - e^{-bt})$, $g(nT) = \frac{K}{b-a} (e^{-anT} - e^{-bnT})$, $H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{K}{b-a} (e^{-anT} - e^{-bnT}) z^{-n}$, 因为 $\sum_{n=0}^{\infty} e^{-anT} z^{-n} = \frac{1}{1 - e^{-aT} z^{-1}}$ (这是等比级数), 所以

$$H(z) = \frac{K}{b-a} \left\{ \frac{1}{1 - e^{-aT} z^{-1}} - \frac{1}{1 - e^{-bT} z^{-1}} \right\}$$

$$= \frac{K}{b-a} \times \frac{z(e^{-aT} - e^{-bT})}{(z - e^{-aT})(z - e^{-bT})}$$

将Z传递函数的分子与分母多项式作因式分解,得

$$H(z) = G \frac{\prod_{r=1}^M (1 - z_r z^{-1})}{\prod_{k=1}^N (1 - p_k z^{-1})}$$

式中 z_r 是 $H(z)$ 的零点, p_k 是 $H(z)$ 的极点, G 是增益,它们由差分方程的系数 a_k 和 b_r 决定。

Z传递函数在离散系统中的地位和作用,类似于连续系统中的传递函数。离散系统中采样器的数目和位置,对于Z传递函数有重要影响。

参考书目

绪方胜彦著,现代控制工程,卢伯英等译,北京:科学出版社,1978
郑君里等编,信号与系统 下册,北京:人民教育出版社,1982

(李 菊)

zaliuzi

载流子 (carrier) 在半导体中载运电流的带电粒子——电子和空穴,又称自由载流子。在一定温度下,半导体处于热平衡状态,半导体中的导电电子浓度 n_0 和空穴浓度 p_0 都保持一个稳定的数值,这种处于热平衡状态下的导电电子和空穴称为热平衡载流子。

在本征半导体中只发生热激发时,电子数目等于空穴数目,这时热平衡载流子浓度为

$$n_0 = p_0 = n_i$$

$$= 4.82 \times 10^{15} \left(\frac{m_p^* m_n^*}{m_0^2} \right)^{\frac{3}{4}} T^{\frac{3}{4}} \exp \left(-\frac{E_g}{2kT} \right) \quad (1)$$

式中 m_0 为电子质量, kg; m_n^* 为电子有效质量, kg; m_p^* 为空穴有效质量, kg; k 为玻耳兹曼常数, J/K; E_g 为禁带宽度, eV; n_i 为本征载流子浓度, cm^{-3} ; T 为绝对温度, K。

对于杂质半导体, N 型半导体中的电子和 P 型半导体中的空穴称为多数载流子(简称多子), 而 N 型半导体中的空穴和 P 型半导体中的电子称为少数载流子(简称少子)。在强电离的情况下, N 型半导体中多子浓度 n_0 及少子浓度 p_0 分别为

$$\left. \begin{aligned} n_0 &= N_D \\ p_0 &= \frac{n_i^2}{N_D} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

P 型半导体中多子浓度 p_0 及少子浓度 n_0 分别为

$$\left. \begin{aligned} p_0 &= N_A \\ n_0 &= \frac{n_i^2}{N_A} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

上二式中 N_D 为施主杂质浓度, cm^{-3} ; N_A 为受主杂质浓度, cm^{-3} 。

如果对半导体施加外界作用(如用光的或电的方法), 破坏了热平衡条件, 使半导体处于与热平衡状态相偏离的状态, 则称为非平衡状态。处于非平衡状态的半导体, 其载流子比平衡状态时多出来的那一部分载流子称为非平衡载流子。在 N 型半导体中, 把非平衡电子称为非平衡多数载流子, 非平衡空穴称为非平衡少数载流子。对 P 型半导体则相反。在半导体器件中, 非平衡少数载流子往往起着重要的作用。

(朱秉升)

zailiuzi shouming

载流子寿命 (life time of carriers) 非平衡载流子在复合前的平均生存时间, 是非平衡载流子寿命的简称。在热平衡情况下, 电子和空穴的产生率等于复合率, 两者的浓度维持平衡。在外界条件作用下(例如光照), 将产生附加的非平衡载流子, 即电子—空穴对; 外界条件撤消后, 由于复合率大于产生率, 非平衡载流子将逐渐复合消失掉, 最后回复到热平衡态。非平衡载流子浓度随时间的衰减规律一般服从 $\exp(-t/\tau)$ 的关系, 常数 τ 表示非平衡载流子在复合前的平均生存时间, 称为非平衡载流子寿命。在半导体器件中, 由于非平衡少数载流子起主导作用, 因此 τ 常称为非平衡少数载流子寿命, 简称少子寿命。 τ 值范围一般是 $10^{-1} \sim 10^3 \mu\text{s}$ 。复合过程大致可分为两种: 电子在导带和价带之间直接跃迁, 引起一对电子—空穴

的消失, 称为直接复合; 电子—空穴对也可能通过禁带中的能级(复合中心)进行复合, 称为间接复合。每种半导体的 τ 并不是取固定值, 将随化学成分和晶体结构的不同而大幅度变化, 因此, 寿命是一种结构灵敏参数。 τ 值并不总是越大越好。对于 Si 单晶棒和晶体管的静态特性来说, 希望 τ 值大些。但是, 对于在高频下使用的开关管, 却往往需要掺杂(扩散金), 以增加金杂质复合中心, 降低 τ 值, 提高开关速度。近年来, 在电力电子器件生产中, 常用电子束辐照代替掺金, 降低 τ 值。目前在 Si 和 GaAs 材料、器件和集成电路生产过程中, τ 值是必须经常检测的重要参数。

(陈光遂)

zhanlái xiāngyīng

暂态响应 (transient response) 激励作用于有损、线性、非时变的动态电路时, 从全响应中减去稳态响应的余下部分。记全响应为 $x(t)$, 稳态响应为 $x_{ss}(t)$, 暂态响应为 $x_{tr}(t)$, 则

$$x_{tr}(t) = x(t) - x_{ss}(t)$$

或

$$x(t) = x_{ss}(t) + x_{tr}(t)$$

暂态响应是随时间衰减的, 经足够长的时间后, 暂态响应消失, 即 $t \rightarrow \infty$ 时 $x_{tr}(t) \rightarrow 0$ 。

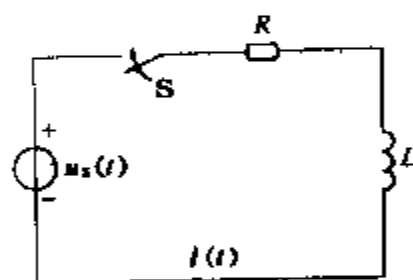


图 1 R-L 串联电路

在直流激励或周期性激励作用下, 电路有稳态响应。暂态响应消失后, 全响应等于稳态响应。若激励只在有限时间内存在, 例如脉冲激励, 或者激励在长时间以后趋于零, 例如按

指数衰减的激励 Ue^{-at} 、 $Ue^{-at}\sin\omega t$, 其中 $a > 0$, 则电路的稳态响应是零 [$x_{ss}(t) = 0$]。这时, 暂态响应就是全响应, 即 $x(t) = x_{tr}(t)$ 。

图示电阻 R 和电感 L 串联电路。时间 $t = 0$ 时开关合上。电源电压 $u_s(t)$ 有三种情况: ① $u_s = U$; ② $u_s = U\sin\omega t$; ③ $u_s = Ue^{-at}$ 。式中 U 、 ω 、 a 都是正常数。这三种情况下电流 $i(t)$ 、暂态响应 $i_{tr}(t)$ 和稳态响应 $i_{ss}(t)$ 的波形如图 2 所示。

在电工问题中, 经常遇到直流和正弦电流电路。当电路的工作状态发生变化时(如电源的接入, 断开或参数的变化等), 电路中的全响应将从原有的稳态响应变化到新的稳态响应。在这两者之间往往要经历一个过程, 在这个过程中暂态响应逐渐消逝。这个过程工程上称之为过渡过程。图 2 中, 电流 $i(t)$ 从开关闭合前的“零”值变化到闭合后新的稳态响应之间所经历时间 T 的过程也就是过渡过程。

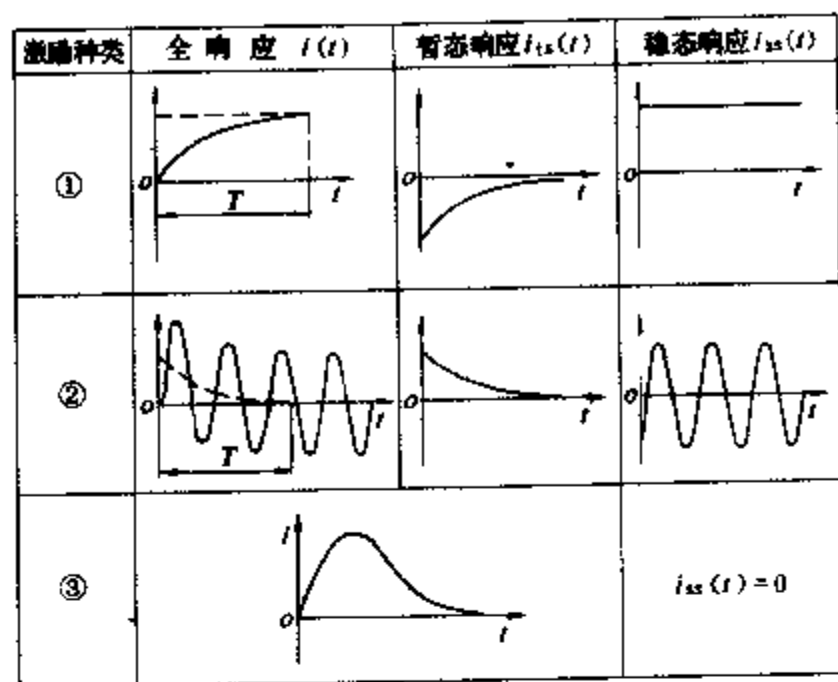


图2 三种典型激励下 $R-L$ 电路中的响应波形

(郑君里)

zhaliuguan

闸流管 (thyatron) 在阴极与阳极间有一个或多个栅极,具有控制特性的热阴极充气管。结构示意图如图1所示。管内充有水银蒸气或惰性气体(氙、氪或氩)。闸流管主要用于可控整流、继电器控制等方面。60年代以后已逐渐被晶闸管所取代。但充氢闸流管在雷达装置及核聚变、激光、等离子体研究等方面仍有应用。

工作原理 闸流管工作于气体弧光放电区。其控制作用不同于真空管。在真空中阳极电流是由栅极上的较低交变电压进行控制的,而在闸流管中,栅极是用来阻止电流通过的。只当栅极电压高于某个临界负值时电流才能通过,此时阴极发射的电子加速向阳极运动,同时由于碰撞电离,迅速建立起电弧等离子体。只要阳极对阴极的正电压足以维持电弧放电,栅极就不起控制电流的作用。电流的大小主要由外电路负载决定。当阳极电压为零或负值时,电弧被熄灭,经过一段消电离(恢复)时间以后,栅极又恢复控制作用。大多数型号闸流管的消电离时间约为1ms,有些特殊管型(充氢闸流管)消电离时间短到10μs。

控制特性 栅极的作用是用一个较小的负电压屏蔽阴极周围区域由阳极电位产生的正电场,显然,当阳极电位升高时,栅极电位应更负些才能阻止管子导

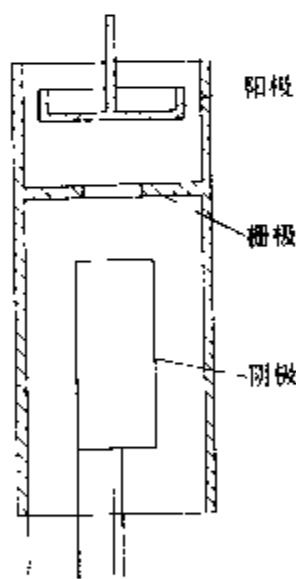


图1 负栅闸流管结构示意图

通。阻止管子导通的栅极电压与阳极电压的关系称为控制特性。图2示

出负栅闸流管的控制特性。阴影区域表示同型号管子的参数范围,虚线所示为其典型特性。在某一给定的阳极电压 U_a 下,对于比特性曲线 U_g 值

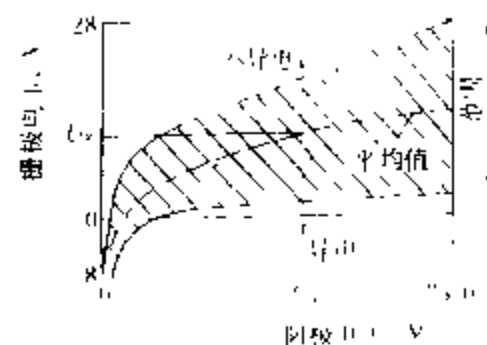


图2 负栅闸流管控制特性

更负的栅压,管子将不导通;反之,管子导通。

(张志清)

zhenkong dianzi qijian

真空电子器件 (vacuum electronic device)

借助电子在真空或者气体中与电磁场发生相互作用,将一种形式的能量转换成另一种形式的能量的器件。真空电子器件都有真空密封管壳和若干个电极,管壳内抽成真空,残余气体压强为 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ Pa。有些真空电子器件,在抽出管壳内气体后,再充进所需成分和压强的气体。

类型 真空电子器件主要包括静电控制电子管、微波电子管、电子束器件、光电管、真空指示器、充气管及X射线管等。①静电控制电子管:借助电子热发射现象和改变管内电极上的电位,使管内各电极间电场发生变化,从而控制电子的运动。它能实现直流电能和电磁振荡能量之间的转换。按管内电极数目可分为二、三、四、五极管等。有些电子管为复合管,如双二极管,二极-三极管,三极-五极管等。按用途可分为收信管和发射管,主要用于无线电广播、电视广播、无线电通信、雷达、工业加热和粒子加速器等。②微波电子管:工作于微波波段的真空电子器件。微波电子管用来把直流能量转换成频率为300MHz到3000GHz的电磁振荡能量,用于雷达、电视、微波通信、导航、遥控遥测及微波烘烤等领域。③电子束器件:通过形成和控制弱电流电子束实现多种信号转换的真空电子器件。主要是电信号与光信号之间的转换。如显示管和显像管用来实现电信号到光学图像的转换,摄像管用来实现光学图像转换为电信号。各类电子束器件广泛应用于电视摄像与显像、电视传真、计算机终端显示、测量仪表、雷达、医学等领域。④光电器件:利用光电发射现象,把光信号变为电信号的真空电子器件,包括光电管、光电倍增管等。主要应用于自动控制、天文研究、核物理、传真通信、激光探测、空间研究等。⑤真空指示器:用来把电信号变成数字、字符等光信号显示出来,包括荧光数码管、电光指示器等。主要用于测量

仪表、信息显示设备。⑥充气管：基于气体放电原理的真空电子器件。制造时先将管壳内抽成真空，再充以一定量的特定成分的气体。按用途可分为整流管、闸流管、稳压管、字码管、等离子体显示器件等。应用于雷达、通信、自动控制、辐射测量、显示、工业交通等领域。⑦X射线管：用于产生X射线的电子管，将直流电能转换成X射线能量，主要用于医学诊断治疗、零件无损检验、物质结构分析、光谱分析等。

与固态电子器件的关系 由于半导体器件的迅速发展，20世纪60年代以来，低频小功率电子管已为晶体管所取代；用于功率变流器的充气管（整流管、闸流管、引燃管等）已为大功率半导体整流管、晶闸管所取代。但真空电子器件具有频率高、功率容量大的显著优点，故高频大功率领域现仍被真空电子器件所占据。各类电子束器件和光电器件虽面临固态电子器件的竞争，但近期内仍广泛应用并有所发展。真空电子器件与固态器件互相渗透，产生出一些新型电子器件，如电子束半导体器件等。

（张志清）

zhenkong jichuan

真空击穿 (electrical breakdown in vacuum)

在高真空的初始条件下，即电子和离子的平均自由程远大于电极间隙距离，以致间隙空间的碰撞电离可以忽略时，由于电极间施加很高的电压而引起的自持放电过程。

高真空间隙是一种强度很高的绝缘间隙，其击穿场强达 1.3 MV/cm ，广泛地用于真空开关、粒子加速器和电子管等设备中。真空间隙的击穿常常是破坏性的和不可逆转的，会破坏电极，从而使间隙在较低电压下就会击穿。研究真空击穿的机理，有助于采取相应的预防措施，以提高真空间隙的绝缘性能。

1897年R. W. 伍德(R. W. Wood)首先对真空击穿进行了研究。在真空间隙上施加高压，一般都能观察到很小的，但数值确定的所谓预放电电流；当电压升高时，电流增加很快，而且有一些所谓微放电的尖峰叠加在电流上；当电压上升到某一值 U_0 时，电流突然增加到由外回路确定的数值，则发生真空击穿， U_0 称为击穿电压，见图1。人们普遍认为：由于与电极有关的某些过程使局部电极材料气化，局部气压的提高将进一步引发电离和放电过程，最终导致整个间隙的击穿。现今流行的真空击穿理论有场致发射引发击穿和微粒引发击穿。

场致发射引发击穿 在 10^8 V/m 数量级的强电场的作用下，金属表面要发生场致电子发射（见阴极电子发射）。在真空间隙上实际施加的工作场强在 $5 \times$

10^7 V/m 以下。用透射电子显微镜观察电极，发现其

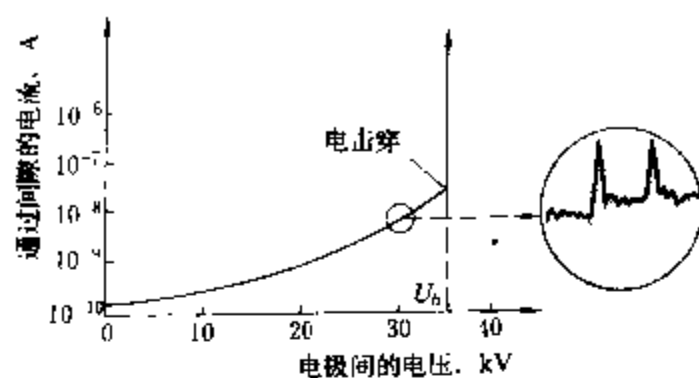


图1 平板真空电极间，电流和电压间的非线性关系
 U_0 —击穿电压

表面有一些微小凸点，见图2。在凸点尖部电场增强系数达150，从而使局部微电场超过 10^8 V/m ，发生显著的场致发射。当电压升高时，发射电流密度加大。当阴极上的凸点很尖时，它会发生爆发性的气化，产生微小的等离子体，进而可能引发整个间隙的击穿。当阴极上的凸点不太尖锐时，由它发射的电子束的功率密度很大，在阳极表面产生热点，引起阳极材料的气化，而引发击穿。

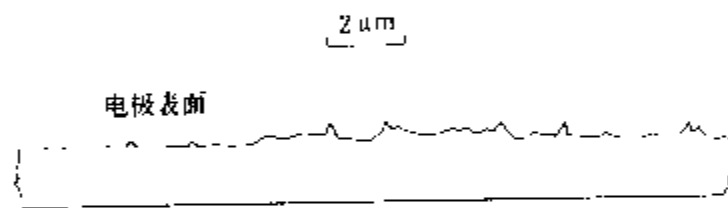


图2 电极表面的显微图

微粒引发击穿 在电极表面存在许多尺寸为微米数量级的粒子，它们不太紧密地附在电极表面上。在强电场的作用下，它们带着电荷离开电极表面，并在间隙中加速，直到碰撞到对面电极。因它们的动能很大，引起对面电极材料的熔化、气化，为产生微小的等离子体创造条件。有两种说明飞行微粒产生微小等离子体的模型：①当带电微粒飞行到与对面电极相距为几微米距离时，可产生 10^8 V/m 的强电场，而发生强的场致发射，使局部电极或微粒气化，产生微小等离子体，从而可能引发整个间隙的击穿。②阳极上的微粒向阴极飞行，在途中被阴极发射电流加热、气化，产生微小等离子体。

在短间隙 ($d \leq 2 \text{ mm}$) 中，场致发射过程起主要作用；在大间隙 ($d \geq 5 \text{ mm}$) 中，微粒机制起主要作用；中间的距离是过渡区。

真空击穿理论还在不断发展。近年来实验观测和理论模型说明，电极表面的绝缘夹杂物，在电极表面上与电极绝缘的金属和非金属微粒都是很强的场致电子发射点。

（罗承沐）

zhendong jianliuji

振动检流计 (vibration galvanometer)

见检流计。

zhenzi

振子 (vibrator) 见检流计。

zhengliu dianlu

整流电路 (rectifier circuit) 用具有单向导电特性的器件将交流电转变成脉动直流电的电路。

电力系统控制电路中所用的电源和系统所使用的各种电子设备中的电源,通常都是直流电源,其中有许多是由交流电通过整流、滤波、稳压电路转换而得到的。整流电路将交流电转变为脉动直流电。滤波电路将脉动直流电中的脉动成分滤去,使之成为平滑的直流电。整流电路所用的单向导电器件有真空二极管、充气二极管、充气闸流管、汞弧整流器、硒整流器、半导体整流二极管、整流桥堆、高压硅堆和晶闸管等。真空二极管、充气管的整流效率较低,抗震性差,不易维护,现已很少采用。

整流电路按输出电压平均值能否调节可分为不控整流电路和可控整流电路;按单向导电器件在电路中的接法可分为半波、桥式和全波整流电路;按交流电源的形式又可分为单相和三相整流电路。小功率整流器常采用单相整流电路;中、大功率整流器则采用三相整流电路。

单相半波整流电路 单相半波纯电阻负载整流电路如图 1 (a) 所示。图中电源变压器 T 将单相交流电压 u_1 变为 u_2 。当 $u_2 = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$ 时,由于整流管 V 的单向导电作用,输出电压 u_L 不再是正弦波,而是一系列脉动电压,其波形如图 1 (b) 所示。输出电压 u_L 的平均值 U_L (即直流分量) 为

$$\begin{aligned} U_L &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.45 U_2 \end{aligned}$$

输出电流平均值 I_L 为

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi R_L}$$

在此电路中, U_L 基波角频率和 U_2 相同,所以其输出基波分量的幅值 U_{L1M} 为 $\frac{U_2}{\sqrt{2}}$, 此基波交流分量的幅值和输出电压平均值之比为脉动系数 M , 即

$$M = \frac{U_{L1M}}{U_L} = \frac{\pi}{2} \approx 1.57$$

流过变压器二次绕组的电流有效值 I_2 为

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{2M}^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \frac{\pi}{2} I_L$$

整流电路的直流输出功率 $P_L = I_L U_L$ 和电源变压器二次侧容量 $P_2 = I_2 U_2$ 之比为整流效率 η , 即

$$\eta = \frac{P_L}{P_2} \times 100\% = \frac{2}{\pi^2} \times 100\% \approx 28.7\%$$

在此电路中, 整流管所承受的最高反向电压 $U_{RM} = \sqrt{2} U_2$ 。

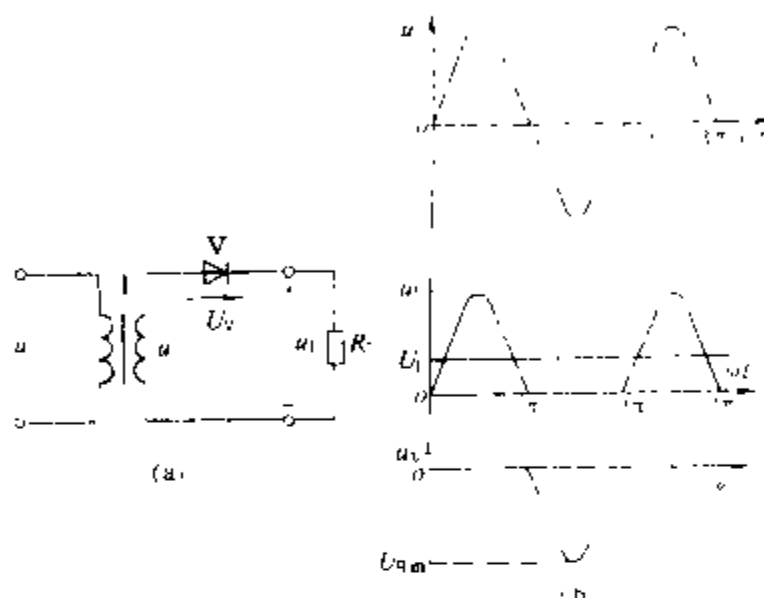


图 1 单相半波整流电路及波形图
(a) 单相半波整流电路; (b) 各点电流、电压波形图

单相桥式整流电路 单相桥式纯电阻负载整流电路如图 2 (a) 所示。交流供电电压 u_2 在正半周时, 变压器 T 二次绕组的 1 端为正极性, 整流二极管 V1、V3 导通, V2、V4 截止。电流由变压器的 1 端通过 V1 流经 R_L 、V3 回到变压器的 2 端。在负半周时, 变压器的 2 端为正极性, 整流二极管 V2、V4 导通, V1、V3 截止, 电流由 2 端通过 V2 流经 R_L 、V4 回到 1 端。交流电的正、负两个半周流过变压器二次绕组的电流方向相反, 变压器不会发生磁饱和现象。负载电阻 R_L 在一个周期内都有电流流过, 始终是一个方向, 所以负载电阻上的电压平均值比半波整流电路大一倍。其各点电压、电流波形如图 2 (b) 所示。在此电路中, 流过变压器二次绕组电流的有效值为

$$I_2 = \frac{U_2}{R_L}$$

输出电压所含最低频率的交流分量为

$$-\frac{4}{3\pi} \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} \cos 2\omega t。脉动系数 M 为$$

$$M = \frac{\frac{4}{3\pi} \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi}}{\frac{2}{\pi} \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi}} \approx 0.67$$

整流效率 η 为

$$\eta = \frac{P_L}{P_2} \times 100\% = \frac{8}{\pi} \times 100\% \approx 81\%$$

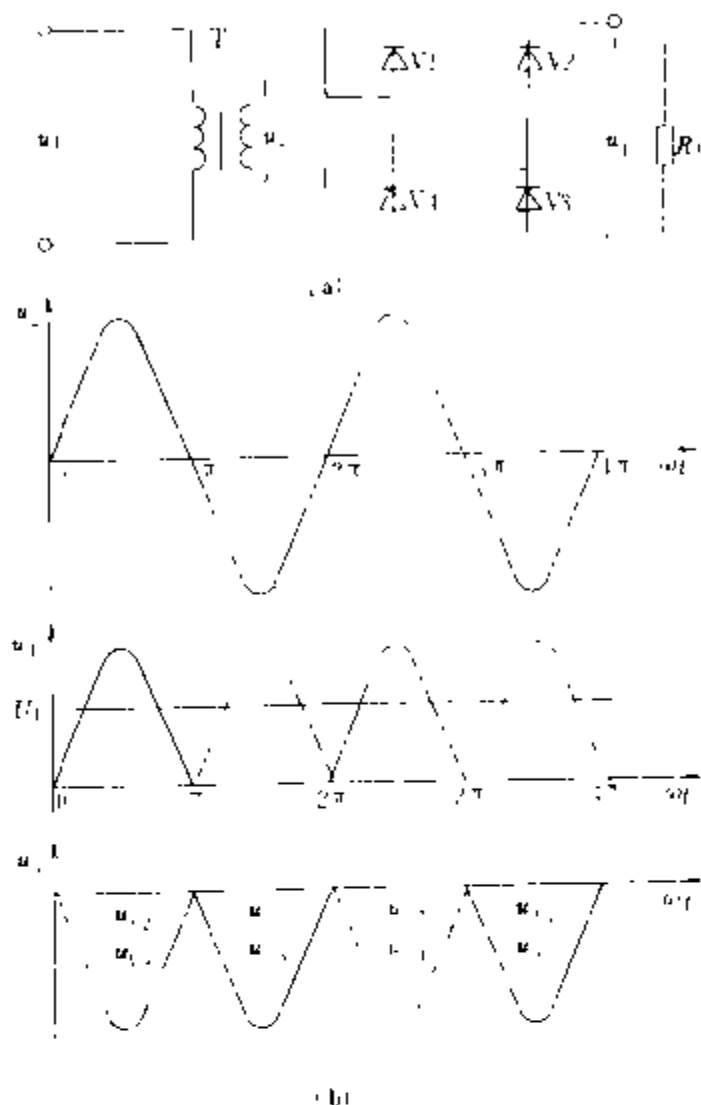


图2 单相桥式整流电路及波形图

(a) 单相桥式整流电路；(b) 各点电流、电压波形图

现在普遍采用将四个硅整流二极管封装成一个整体的桥式整流器（简称桥堆）来组成桥式整流电路。桥

堆的外形如图3(a)所示。桥式整流电路也常画成图3(b)所示形式。

单相全波整流电路 单相全波纯电阻负载整流电路如图4所示。它实际上是两个半波整流电路的组合。图中变压器二次绕组有一中心抽头， $u_{2a} = u_{2b}$ 。 u_{2a} 和 u_{2b} 相对于中心抽头的相位差为 180° ，在交流电源正、负两个半周时，都有电流 i_L 流过 R_L ，因而输出电压中的脉动比半波整流电路小。又由于在交流电压正、负两个半周时，流过变压器二次绕组中电流的流向是相反的，产生的直流磁通互相抵消，因而变压器不会发生磁饱和现象。输出波形和桥式整流电路相同。它和桥式整流电路相比，可少用两只整流管，但每一整流管承受的最大反向电压比桥式整流电路要高一倍，同时变压器二次侧需多一个绕组，因此整流效率要比桥式整流电路低（见表）。

图3 桥堆外形及桥式整流器电路图
(a) 桥堆外形；(b) 桥式整流器电路

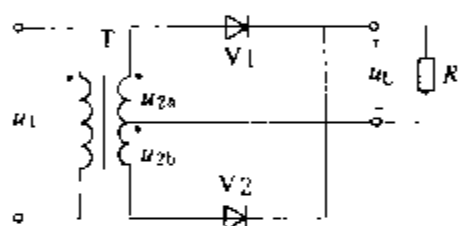


图4 单相全波整流电路

三种单相纯电阻负载整流电路的特性比较表

电路形式	电源变压器二次绕组交流电压有效值	输出电压平均值	每一整流管承受的最大反向电压	通过整流管的电流平均值	整流效率 η	脉动系数 M	纹波的最低频率	需用整流二极管的数目
半波整流	U_2	$0.45U_2$	$\sqrt{2}U_2$	$0.45 \frac{U_2}{R_L}$	28.7%	1.57	f	1
桥式整流	U_2	$0.9U_2$	$\sqrt{2}U_2$	$0.45 \frac{U_2}{R_L}$	81%	0.67	$2f$	4
全波整流	$U_{2a} + U_{2b} = 2U_2$ 要两个绕组	$0.9U_2$	$2\sqrt{2}U_2$	$0.45 \frac{U_2}{R_L}$	57.8%	0.67	$2f$	2

注：表中所列结果是在忽略整流管及变压器二次绕组电阻的情况下得出的。

(叶治政)

zhengliushi dianbiao

整流式电表 (rectifier meter) 见变换器式电表。

zhengx anbo xinhao fashengqi

正弦波信号发生器 (sine-wave generator)

能产生频率和幅值都可调节的正弦波形电压信号电子线路。一般用作信号源，它广泛用于测量仪器和控制系统中。它的电路结构大都包含一个选频网络和一个放大器。调节选频网络的参数即可改变输出电压的频率，调节输出级的参数即可调节输出电压的幅值。

见正弦波振荡电路。

(何金茂)

zhengxianbo zhendang dianlu

正弦波振荡电路 (sine-wave oscillator circuit)

能产生幅值可变、频率可变的正弦波电压信号的电子电路,又称正弦波信号发生器。在调试电力系统中的通信、遥控等电子设备及测量仪器的电路时,经常需要一定幅值和频率的正弦波信号,作为信号源,为此,专门生产了正弦波信号发生器。

实际工作中需要不同幅值、频率和功率的正弦波信号,有时要求作标准信号,即要求正弦波电压的幅值和频率高度稳定、准确。因此正弦波振荡电路应具有如下特点:

- (1) 振荡频率和幅度要稳定。
- (2) 正弦波形失真要小,即谐波分量小。
- (3) 具有低的输出阻抗,有一定的输出功率。

频率范围和输出功率的大小可根据使用需要而选取。

工作原理 反馈型正弦波振荡电路的方框图如图1所示,主要由放大电路 \dot{A} 和反馈网络 \dot{F} 两部分电路组成。放大电路 \dot{A} 可以由双极型晶体管、场效应管或集成运算放大器组成;反馈网络可由电阻、电感、电容或石英晶体等组成。一般反馈网络具有选频特性。如图1所示,放大电路的输出信号经过选频网络以正反馈的方式(见反馈放大器)连接到放大电路的输入端,形成一个闭环系统。

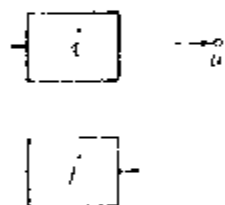


图1 正弦波振荡电路方框图

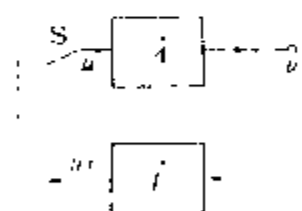


图2 正弦波振荡电路的起振条件分析示意图

先设想在电路中接有一个开关 S (图2),当 S 断开时,在 A 的输入端加入频率为 f 的正弦波电压 u_i ,经放大电路放大后的输出电压为 u_o ,由选频网络反馈回来的电压为 u_f 。如果 u_f 和 u_i 大小相等,相位相同,那么用 u_f 替代 u_i ,输出电压 u_o 将保持不变。实际上 S 不存在,电路是接通的,只要满足一定条件,即使输入没有加信号 u_i 仍能得到输出电压 u_o ,这种现象称为自激振荡。维持自激振荡的条件是 $\dot{A}\dot{F}=1$ 。这个方程称为巴克豪森判据。它包含幅度平衡条件 $|\dot{A}\dot{F}|=1$;相位平衡条件 $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$, n 为整数, φ_A 为放大电路的相移, φ_F 为反馈网络的相移。由于输出电压 u_o 的幅值保持不变,故又称为等幅振荡。

振荡电路有一起振过程。在放大电路中存在噪声或瞬态扰动,它的频谱很宽,其中必然包含振荡频率的成分,经过选频网络选取出振荡频率成分的信号送入放大电路输入端,其他频率成分被抑制。由于噪声和瞬态扰动的信号较弱,在起振时,要求 $\dot{A}\dot{F} > 1$,使放大电路输出信号经多次反馈,幅值由小变大,直至所需幅值。这种随时间幅值由小变大的现象称为增幅振荡。

振荡电路接通电源后进入起振过程,在 $\dot{A}\dot{F} > 1$ 的条件下,放大电路的输出信号将随时间逐渐增大;当幅值增大到一定程度后,利用非线性元件,使 $|\dot{A}\dot{F}|$ 减小,直至满足 $|\dot{A}\dot{F}|=1$ 的条件,最终幅值就稳定在等幅振荡的幅值上(见RC振荡器、LC振荡器)。

若 $|\dot{A}\dot{F}| < 1$,则将产生减幅振荡,直至停振。在正弦波振荡电路中要避免这种情况。

幅度平衡条件和输出 u_o 幅值的大小,取决于放大电路的非线性特性;相位平衡条件和振荡频率 f_o 的数值,主要取决于选频网络的频率特性。

分类 根据组成选频网络元件的不同,可以分为RC(见RC振荡器)、LC(见LC振荡器)和石英晶体(见晶体振荡器)正弦波振荡电路。根据频率高低的不同,又可分为低频、高频、甚高频、超高频正弦波振荡电路。

以上为反馈型振荡电路,另外还有一种是负阻型振荡电路,其原理如图3所示。

G 是负阻器件(见隧道二极管)的增量负电导, G' 是振荡回路的损耗电导。如果 $|G|=G'$,则振荡幅度终将达到稳定值。 $|G| > G'$ 称为起振条件, $|G|=G'$ 称为幅度平衡条件。

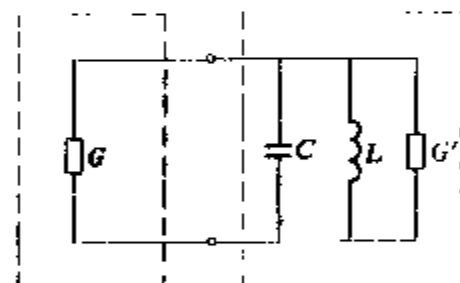


图3 负阻型振荡电路原理图

参考书目

童诗白主编,模拟电子技术基础,第2版,北京:高等教育出版社,1988

沈尚贤主编,电子技术导论,下册,北京:高等教育出版社,1986

Millman J, Grabel A. Microelectronics, 2nd ed. McGraw-Hill, 1987

(叶德璇)

zhengxian dianliu

正弦电流 (sinusoidal current)

随时间按正弦规律变化的电流。类似地有正弦电压、正弦磁通量等。电力系统中的电压波形都采用正弦波形。采用正弦波形使发电机、变压器、电动机结构费用减少,并使其具有较高的运转效率。

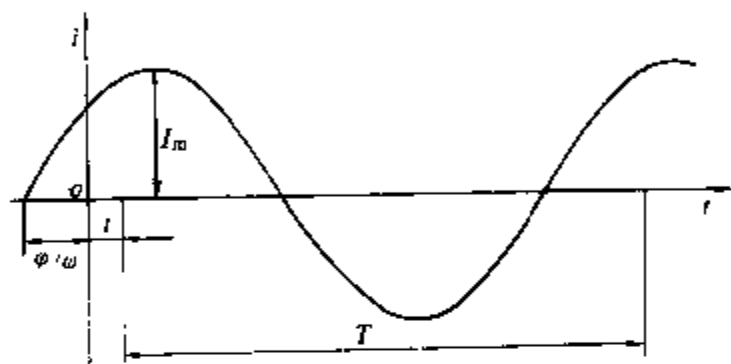
正弦变量是周期变量中最简单也是最基本的一种。其表达式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

其波形如图所示。式中 I_m 称正弦电流的振幅； $(\omega t + \varphi)$ 称正弦电流的相位，它反映了正弦的变化进程； φ 是 $t=0$ (初始) 时的相位，称初相位； ω 称角频率。正弦量每秒的变化次数称为频率，频率 f 与角频率 ω 和周期 T 有如下关系

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}$$

I_m 、 ω 、 φ 也称为正弦量的三要素。



正弦交流波形图

电力工程中常用有效值 I 来衡量周期电流(电压)的大小。这时，正弦电流的表达式为

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi)$$

经常要讨论两个同频率正弦变量之间的相位关系，例如有两个电流

$$i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$\theta = (\varphi_1 - \varphi_2)$ 称为相位差，称 i_1 领先 i_2 θ 角或 i_2 滞后 i_1 θ 角。 $\varphi_1 = \varphi_2$ 时称 i_1 、 i_2 同相。

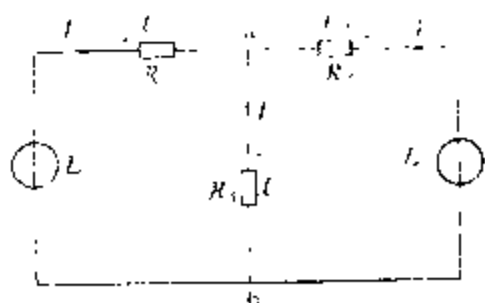
载有正弦电流的电路称正弦电流电路。

(陈允康)

zhilu dianliufa

支路电流法 (branch current method)

以电路的支路电流作为待求量求解电路问题的方法。应用支路电流法时，根据欧姆定律，电阻器的电压用电阻和电流的乘积表示。



电路图

在图示电路中，两个独立电压源的电动势 E_1 、 E_2 和电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 设为已知量。三个支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 是未知量。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 的电压

分别是 U_1 、 U_2 、 U_3 ，且 $U_1 = R_1 I_1$ 、 $U_2 = R_2 I_2$ 、 $U_3 = R_3 I_3$ 。对节点 a 可列出基尔霍夫第一定律方程 (见基尔霍夫定律)： $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ 。沿着含电阻 R_1 、 R_2 和电动势 E_1 的回路，以及含电阻 R_2 、 R_3 和电动势 E_2 的回路，可列出基尔霍夫第二定律方程，即

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 = E_1$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$

以上三个方程就是应用支路电流法列出的方程。由这三个方程可解出三个支路电流。

利用支路电流法可列出的独立方程数目如下：设电路图是连通的，即从任一节点出发，可沿着电路图的支路达到任何其他节点。令 b 代表支路数， n 代表节点数。应用支路电流法时，应写出 $(n-1)$ 个独立的基尔霍夫第一定律方程， $(b-n+1)$ 个独立的基尔霍夫第二定律方程。方程总数为 b 。由 b 个方程联立解出 b 个支路电流。对于图示电路图， $b=3$ ， $n=2$ ，基尔霍夫第一定律方程有 1 个 ($n-1=1$)，第二定律方程有 2 个 ($b-n+1=2$)。

(肖达川)

zhidu cunchuqi

只读存储器 (read only memory, ROM)

见半导体存储器。

zhiling geshi

指令格式 (instruction format) 见指令系统。

zhiling xitong

指令系统 (instruction sets) 一台计算机所能识别并执行的全部指令的集合。一条指令是由一组二进制代码定义的、中央处理器 (CPU) 直接执行的一个命令字，是机器级语言的基本语句，也是可执行程序的一个基本操作步。指令系统是计算机系统性能的重要表征，也是计算机系统结构的重要组成部分。

指令格式 指令代码由操作码段和地址码段两部分组成。操作码段规定需执行的操作类型；地址码段规定操作数的地址。常见的指令格式有如下几种 (图 1)：①三地址指令：地址段中

操作码段	地址码段			指令
OP	A1	A2	A3	三地址
OP	A1	A2		二地址
OP	A			单地址
OP				零地址

图 1 指令格式

地址指令：地址段中 A1 为第一操作数地址，A2 既是第二操作数地址，又是结果数的地址；③单地址指令：

地址段 A 为第一操作数地址, 第二操作数和结果数的地址隐含规定为处理器中某个寄存器; ④零地址指令: CPU 为堆栈型结构的计算机中, 操作数隐含规定在堆栈顶的两个单元中, 操作时依次从堆栈顶弹出两个操作数, 运算结果压回堆栈, 因此指令代码中不需要地址段。上述各种指令格式中没有包括后继指令地址。为了压缩指令字长度 (即指令代码位数), 后继指令地址用一个程序计数器 (又称指令计数器) 给出。

寻址方式 根据指令地址段代码确定操作数地址或后继指令地址的过程称寻址。完善的寻址方式能有效地利用指令字的代码, 即以最少的代码获得最大的存储器寻址空间, 而且灵活的寻址方式也为程序设计者有效地组织和使用数据提供了支持。常见的寻址方式有 (图 2): ①立即寻址: 指令地址段给出的是操作

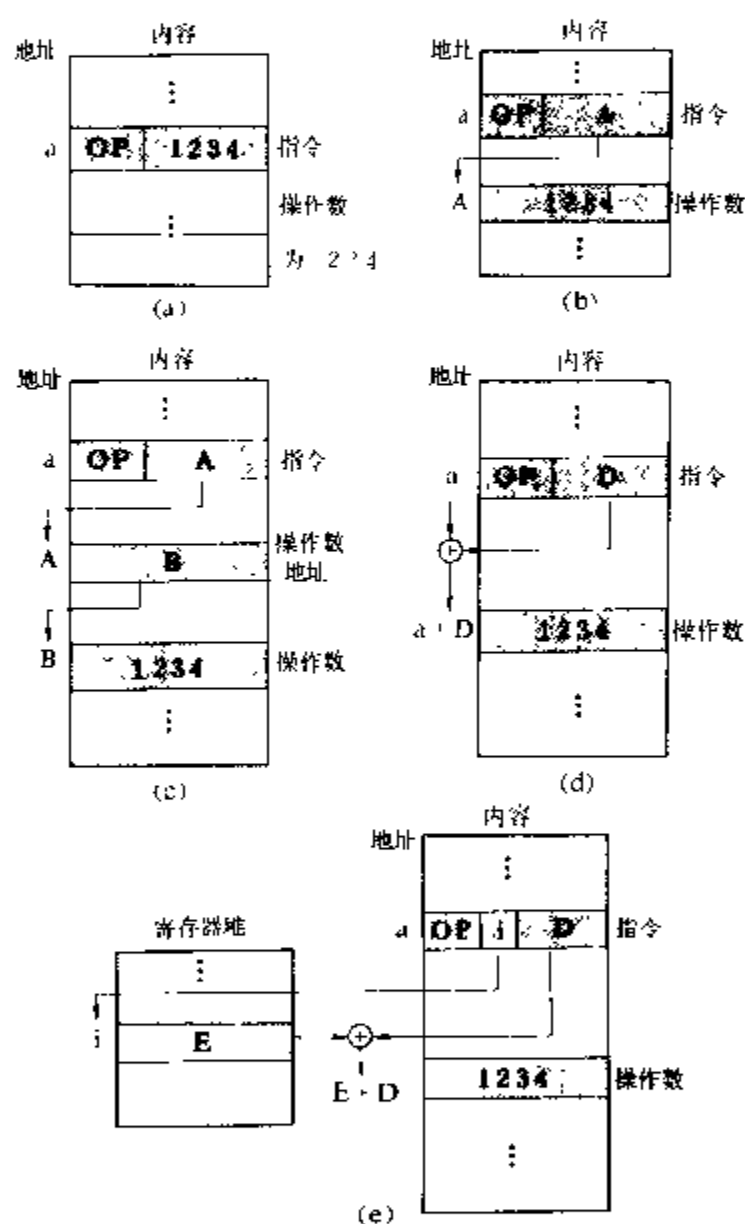


图 2 寻址方式示意图

(a) 立即寻址; (b) 直接寻址; (c) 间接寻址
(d) 变址寻址; (e) 相对寻址

数; ②直接寻址: 地址段给出的是操作数的地址; ③间接寻址: 地址段给出的是操作数地址的地址; ④变址寻址: 地址段给出变址寄存器号 i 和位移量 (或称形式地址) D , i 寄存器中的内容 E 和位移量 D 之和 ($E+D$) 为操作数有效地址; ⑤相对寻址: 地址段给出的是位移

量 D , 操作数有效地址为 D 与程序计数器内容 a (即当前指令地址) 之和 (即 $a+D$)。

此外, 在上述几种基本寻址方式基础上, 可以组合成其他寻址方式, 如直接变址、间接变址等。

指令的种类 按功能分, 指令有如下几类: ①数据运算类。包括算术运算 (如加、减、乘、除等) 和逻辑运算 (如与、或、异或、比较等) 指令。②数据传送类。有处理机内部寄存器之间和寄存器与存储器之间的传送。③程序控制类。包括条件转移、无条件转移、转子程序、子程序返回等指令。④输入输出类。包括处理机对各种外围设备的数据读/写, 设备状态的测试, 向设备发控制命令等指令。⑤状态管理类。如中断控制、设置存储保护等指令。

标量指令与向量指令 标量指令只对单个量即标量进行操作的指令。传统的处理机指令大多数属于这一类; 以向量为处理单位的指令称向量指令。向量是标量的一维集合, 即有序排列的一串数。一条向量指令对 n 个或 n 对数执行相同操作。向量指令在单指令流多数据流 (SIMD) 并行处理机中执行时, 各个分量分别在各个处理机同步进行。在流水线处理机中执行时, 各个分量连续地送入流水线进行重叠处理, 向量指令能显著提高向量的运算速度。

复杂指令系统与精简指令系统 在计算机技术的发展中, 形成了复杂指令系统和精简指令系统两类结构: ①复杂指令系统 (CISC): 在超大规模集成电路 (VLSI) 技术支持下, 每条机器指令的功能非常强, 几乎能直接支持高级语言的语句和操作系统的命令, 从而改善了系统结构。使用 CISC 指令编程, 程序简单, 编译容易, 但设计技术复杂, 周期长, 成本高。统计分析表明, 在复杂指令系统中, 占用 CPU 时间较多、使用频度较高的指令只是少数, 因此系统效率不高。②精简指令系统 (RISC): 设置了一组必要的简单指令系统, 其指令的格式固定, 寻址方式少, 且绝大多数能在一个时钟周期内完成, 因而提高了执行速度。在系统结构上也采取相应改进措施, 如: 由于指令功能简单, 必然导致子程序调用、参数传递频繁, 为此设置了窗口寄存器组, 简化了参数传递的操作, 精简了指令, 简化了 CPU, 因而可缩短处理器设计周期。

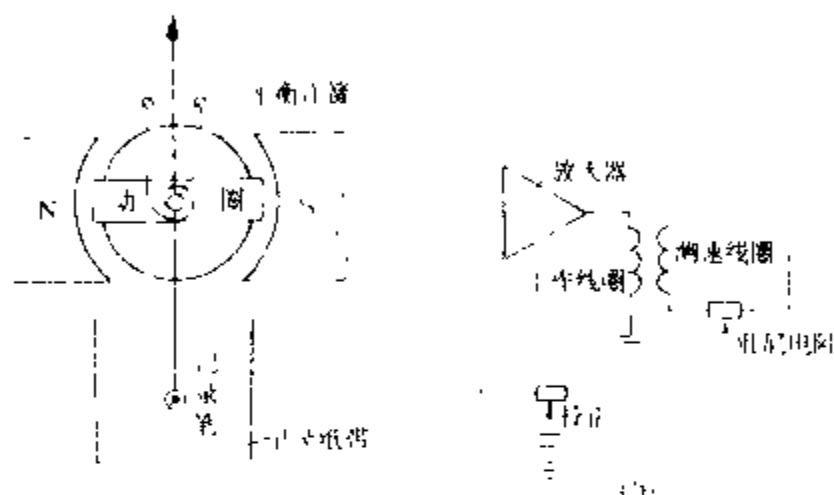
(陶 欣)

zhijie qudongshi jilu yibiao

直接驱动式记录仪表 (recording instrument; directacting type)

在磁电系测量机构的动圈转轴上装有指针和记录笔, 转轴偏转时, 趋动记录笔在纸带上直接绘制曲线的记录仪表。可直接用于记录电网的各种参数; 记录其他参数时, 一般配用放大器, 以

提高灵敏度、工作频率和输入阻抗。其结构示意图如图(a)所示,当动圈中通入电流时,在磁场和平衡弹簧的作用下产生一个与电流成正比的角位移,使指针和记录笔动作。指针示出电流大小,而记录笔在由同步电机驱动的记录纸带上绘出电流随时间变化的曲线;但所绘的线条是圆弧形的。为了观察方便,现代的直接驱动式记录仪表在动圈与笔之间都采用圆弧—直线转换机构,使绘出的线条成直线形。



直接驱动式记录仪表

(a) 结构示意图; (b) 速度负反馈线路

为了获得较高的工作频率,要求仪表有尽可能高的固有频率和尽可能小的转动惯量,所以平衡弹簧有很大的刚度,而动圈做得细而长。记录机构具有弹性振荡系统的运动规律,在没有足够的阻尼时,记录机构会由于谐振而发生较大的记录失真。依靠在磁场中运动的金属线框所产生的阻尼,将使一部分流过动圈的电流作用用于抵消阻尼力矩,因此可以影响工作频率。在带有放大器的直接驱动式记录仪表中,采用速度负反馈的方法来获得必要的阻尼。速度负反馈线路如图(b)所示,在动圈架上绕有工作线圈和测速线圈,阻尼大小可由阻尼电阻调节。校正网络可使工作频率提高1.5倍左右,但在幅度相同的情况下,频率提高一倍,功率要加大到4倍,所以工作频率不可能由校正技术无限提高。

直接驱动式记录仪表结构简单,成本低,但笔尖与纸摩擦较大,准确度低。为减小因摩擦引起的误差,测量装置多使用大驱动转矩型,如磁电系或铁磁电动系测量机构。另一种间歇型直接驱动式记录仪表可减少笔与纸的摩擦,其记录笔不长期接触记录纸,每隔一定时间才将笔压下一次,记录曲线为断续点线。

直接驱动式记录仪表工作频率在100 Hz以下,工业上常用的准确级别为1.5级(携带式)和2.5级(开关板式),阻尼时间小于2 s。

(陈欣军)

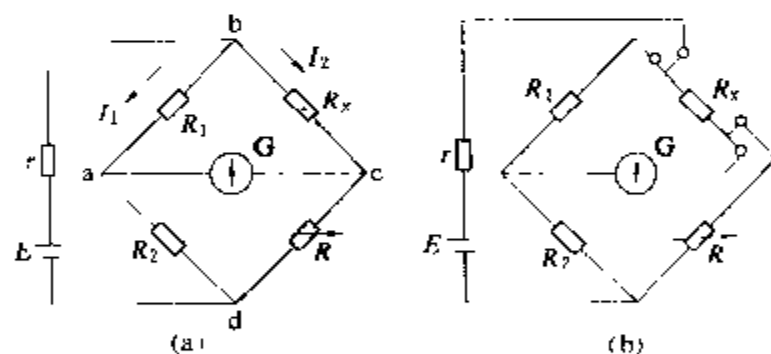
zhiliu

直流 (direct current, DC) 方向和量值不随时间变化的电流。例如用蓄电池对白炽灯供电时,电路中的电流就是直流。引伸之,可指以直流分量为主的电流,例如由整流器输出的电流。直流这两个字也常和其他名词一起构成复合词,例如直流电源,直流输电,直流电路。直流电路实际上是由非时变独立电源(直流电源)供电的非时变电阻电路。在有关现代电路理论的文献里,多用电阻电路一词,直流电路一词则少见。

(肖达川)

zhiliu danbi dianqiao

直流单比电桥 (Wheatstone bridge) 测量直流电阻的四臂电桥,又称惠斯登电桥。直流单比电桥包括四个电阻桥臂和两个对角线支路,如图(a)所示。图中 R_x 为被测电阻; R 为比较臂(读数盘)电阻; R_1 、 R_2 为比例臂(比例 $K=R_1/R_2$)电阻。电源 E 、电阻 r 构成电源对角线支路;指零仪 G (一般用直流检流计)构成指零仪对角线支路。当电桥平衡时,指零仪对角线支路两端电位相等,指零仪中无电流通过,于是有 $I_1 R_1 = I_2 R_x$, $I_1 R_2 = I_2 R$ 。由此得 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R = KR$,即单比电桥中已知三个桥臂电阻即可求得另一桥臂的电阻值。



直流单比电桥

(a) 原理接线图; (b) 用单比电桥测低阻值四端电阻

直流单比电桥的特点是:①电桥的平衡条件只与四个桥臂电阻值有关,而与电源 E 的大小及该支路中的电阻 r 和指零仪的内阻无关;②电桥平衡时,电源和指零仪的位置可以互换而不影响测量结果;③电桥平衡时,一个对角线的状态(开路、短路或接入电阻)不影响另一对角线的状态(电流大小);④电桥平衡时,流过桥臂电阻的电流变化不影响测量结果;⑤电桥平衡公式 $R_x = \frac{R_1}{R_2} R$ 中,四个电阻严格来讲是指电桥相邻

顶点之间的全部电阻,包括桥臂电阻、内部引线电阻、连接导线电阻和开关接触电阻。因此只用桥臂电阻计

算平衡式时会引入误差。

单比电桥主要用于测量中阻值的二端电阻，被测阻值范围一般应大于 $10\ \Omega$ ，这是因为被测电阻较小时，连线电阻和接触电阻的影响相对增大，将造成较大的测量误差。

单比电桥也可用于测量低阻值的四端电阻，其原理线路见图 (b)。它是图 (a) 线路的变形，即改变了 R_x 支路电桥顶点的位置，使电桥顶点与被测电阻的节点重合，从而将连线电阻分别引入与 R_x 相邻的桥臂以及电源、指零仪支路中。将相邻桥臂的电阻适当选大一些，可减小由于连线电阻引入的误差。

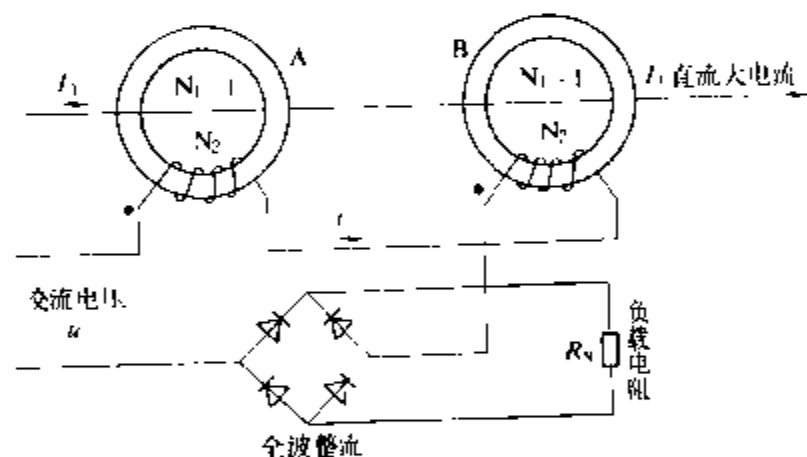
(张少伟)

zhiliu dianliu huganqi

直流电流互感器 (DC current transformer)

利用在闭合铁芯上两绕组间的电磁感应作用及整流电路，将大直流电流按与绕组匝数成反比变换为小直流电流的仪器。

利用铁芯绕组的非线性磁性以及交、直流同时磁化时的非对称性，结合全波整流电路，可实现将直流大电流按匝数反比关系变为直流小电流，具体线路见图。



直流电流互感器原理图

图中 A 与 B 是两个独立铁芯。流过直流大电流 I_1 的导线穿过两铁芯，形成一次绕组，其匝数为 $N_1=1$ 。两铁芯上的二次绕组匝数皆为 N_2 。两绕组以相反极性串接，由交流电压 u 供电。随着交流的极性变化，两铁芯轮流处于深饱和与非饱和状态。二次电流受控于非饱和铁芯。在理想情况下，对于非饱和铁芯有 $N_1 I_1 = N_2 I_2$ ，或 $I_1/I_2 = N_2/N_1$ ，即一次、二次电流与匝数有反比关系。铁芯 A 与 B 分别控制 I_2 的两半周。经全波整流后，通过负载 R_L 的电流已成为直流，可用直流电流表测量。

直流电流互感器主要用于测直流大电流，采用附加补偿绕组，可获得 0.1 级的直流电流互感器。如利用电子器件实现铁芯磁通中的偶次谐波反馈，即可形成自动补偿式零磁通直流电流互感器，其误差可低于

±0.01%。

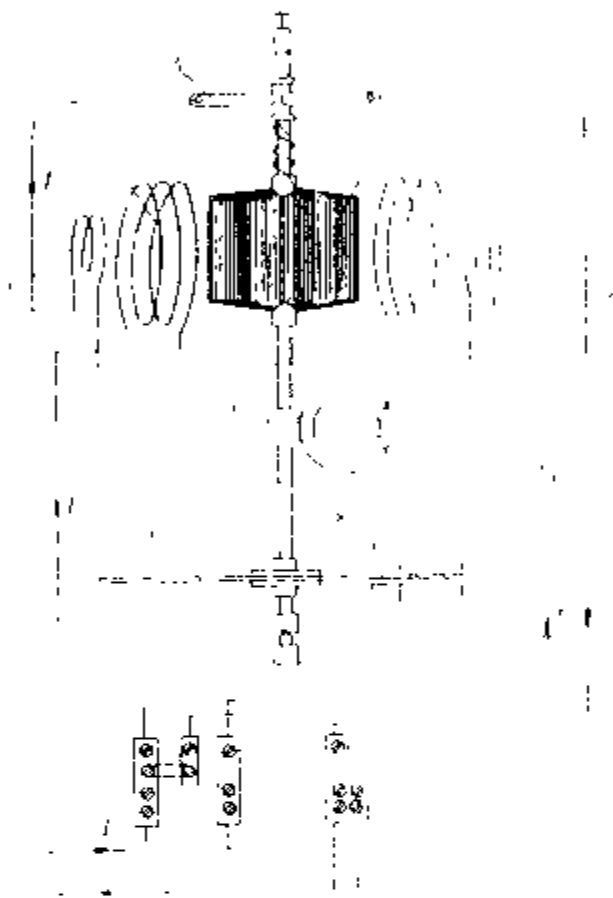
与分流器比较，直流电流互感器的一次、二次回路间具有良好的隔离作用，而且本身电能消耗也较小。

(陈自容)

zhiliu diannengbiao

直流电能表 (DC kWhmeter)

测量直流电路中电能的电表。电动系直流电能表的机构如图所示。线路电压 U 接到由附加电阻 1、补偿线圈 2、换



直流电能表机构示意图

1—附加电阻；2—补偿线圈；3—换向器；4—动圈；5—静圈；6—圆盘；7—蜗杆；8—制动磁铁；9—齿轮

向器 3 及动圈 4 所组成的电路上。负载电流 I 通过静圈 5 产生与之成正比的磁通 φ_I ，并与动圈中电流 I_U 相作用产生转矩 $M = K I_U \varphi_I = K U I = K P$ ，即转矩与功率 P 成正比。动圈和换向器接触环由作 120° 分布的三组构成，动圈能连续转动。在动圈的轴上固定圆盘 6 和蜗杆 7，圆盘在制动磁铁 8 的间隙中转动产生反作用力矩，因此能在一定转速下达到动平衡。圆盘的转动经蜗杆及齿轮系传递至字轮指示出电能。

直流电能表的准确级别一般为 2 级，也有 1.5 级及 1 级的。它的负载特性受转动部分上、下支承及换向器处产生的摩擦力、空气的阻力和补偿力矩的影响。在 75% 额定负载以下时，摩擦力矩由补偿力矩补偿后，误差向正方向变化；在 75% 额定负载以上时，因空气阻力与转速的平方成正比，误差向负方向变化。

直流电能表的温度特性主要是受制动磁铁的温度

系数和铝圆盘的电阻温度系数所引起的误差影响。采用热磁合金补偿磁铁的温度系数后,温度改变 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 时,误差改变可在 $\pm 0.5\%$ 以内。

电动系直流电能表因线路电压变化引起的误差改变比较小。由于电压变化引起补偿力矩改变,当电流小于额定值的 25% 时,误差向负方向变化;大于 25% 时,则向正方向变化。

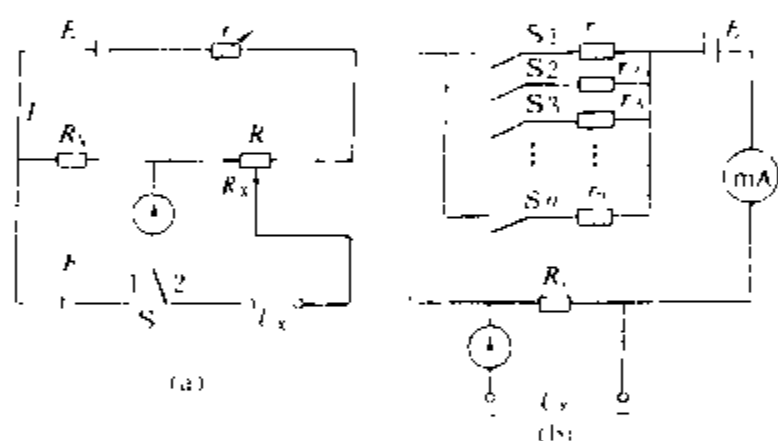
(程世稿)

zhiliu dianweichaji

直流电位差计 (DC potentiometer)

根据补偿原理测量直流电压的仪器,又称直流补偿器。其工作时,调可变标准电压使与被测电压相等。可变标准电压由固定标准电流流过可调电阻获得的,称做定流变阻式电位差计;由可调电流流过固定标准电阻获得的,称做定阻变流式电位差计。也可由此两种方式结合获得可变标准电压。

定流变阻式电位差计 由测量电压回路、标准电流回路和电源回路三部分组成,见图(a)。(1)标准电流



直流电位差计

(a) 变阻式; (b) 定阻式

回路,包括标准电阻 R_N 、标准电池与指零仪(一般用直流检流计),用于校准电位差计的工作电流;②电源回路,包括电源 E ,可调电阻 r 以及 R_N 和 R ,用于调节电位差计的工作电流;③测量回路,由 R_x 及检流计组成。工作时,首先调定工作电流 I ,这时将开关 S 放在位置1,调节电源回路电阻 r ,使检流计指零,这时工作电流在标准电阻 R_N 上产生的电压与标准电池的电动势 E 平衡,于是有 $I=E/R_N$;然后将开关 S 置于2处,调节电阻 R_x ,即调节电阻 R 的滑动触点位置,使检流计再度指零,这时 IR_x 与被测电压 U_x 平衡。 U_x 的计算公式为 $U_x=IR_x=ER_x/R_N=KE$, K 是电阻比 R_x/R_N 。据此,电位差计的工作可看做是通过调节 R_x ,改变比值 K 以获得不同的 KE 值,用以平衡被测电压 U_x 。当电位差计本身不带标准电池时,其准确度只取决于电阻比值 K 的误差,限制了电阻式电位差计准确

度的提高。新型按照磁调制原理工作的直流电流比较仪式电位差计可将误差降低到 $\pm 10^{-6}$ 以下。

电位差计在测量过程中必须保持工作电流稳定,一般要求其稳定度为电位差计允许误差的 $1/10$ 。

定阻变流式电位差计 线路结构见图(b),其工作原理是使不同数值的标准电流通过固定标准电阻 R_0 以获得不同的标准电压值。标准电流来自电源 E_0 与不同数值的标准大阻值电阻 r_1, r_2, \dots, r_n 的串联电路。利用开关 S_1, S_2, \dots, S_n 的组合可改变通过 R_0 的电流值,即改变 R_0 上的标准电压值,用以平衡未知电压 U_x 。

电位差计在平衡时不从被测对象中取电流,因此被测对象的工作状况不受影响,且被测回路连线电阻等也不会给测量结果带来误差,这是使用电位差计测量电压的最大优点。

使用时,要合理选用不同线路的电位差计。如测量低电压时,回路等值电阻较低,热电动势影响较大,应采用输入电阻小、热电动势小的低电动势电位差计;反之,测量较高的电压时,回路等值电阻高,热电动势影响相对较小,应采用输入电阻大的高电动势电位差计。

还需合理选用检流计,以获得最佳的测量灵敏度和阻尼状态。

(张少伟)

zhiliu fangdaqi

直流放大器 (DC amplifier)

放大直流和慢变化输入信号的放大电路。直流放大器常用于测量仪表。在物理电测量和生物电测量中,电信号往往很弱,而且变化缓慢,含有直流成分,经放大后才便于检测、记录和处理。

特点 直流放大器有以下特点:①直接耦合。直流放大器要放大的是直流或慢变化的信号,所以各级间必须采用直接耦合,故又称直接耦合放大器。②零点漂移。作为放大器,当输入信号为零时,输出端应当无变化(保持零电平或某一固定电平)。而在直流放大器中,当输入信号为零时,可用仪器观察到输出端的电平偏离零电平或某一已知电平而缓慢地移动。人们把这种现象称为零点漂移(简称零漂)。引起零点漂移的原因很多,如晶体管参数随温度变化,电源电压波动等。随温度变化引起的漂移,往往称为温漂,单位为 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 。在规定的-定时间(如8h)内产生的漂移,称为时漂,单位为 $\mu\text{V}/8\text{h}$ 。温漂、时漂都称为零点漂移。

在直流放大器中,由于采用直接耦合,前级的零点漂移能够传输到后一级去,并逐级进行放大。为了获得较强的输出信号,希望有较大的电压增益。可是增益越

大,输出的漂移也越大。若输入信号很弱,有时会造成输入信号被漂移电压所淹没,使放大器不能正常工作。可见,增益与零点漂移是直流放大器设计中需要解决的主要矛盾。

分类 直流放大器的类型很多,主要的有:①直接耦合的单管放大器。这是最简单的一种直流放大器,该放大器的缺点是零点漂移大。②利用对管(双极型晶体管或单极型场效应管)构成的差动放大器。这是一种零点漂移较小的直流放大器。③集成运算放大器。这是一种目前应用很广泛的性能较好的多级直流放大器。④斩波式直流放大器。这是在测量仪器中常用的直流放大器。近年发展起来的以场效应管为主构成的斩波器已集成化,例如中国产品 C7650,其失调电压 U_{os} 可小于 $5\mu\text{V}$,温漂 dU_{os}/dT 小于 $0.05\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

(王志宏)

zhiliu gaodianya celiang

直流高电压测量 (measurement of high direct voltages) 见高电压测量。

zhiliu gaodianya fashengqi

直流高电压发生器 (generators of high direct voltage) 产生直流高电压的电源装置。交直流电力设备常需要在直流高电压下进行各类绝缘试验,例如绝缘的泄漏电流试验和耐压试验。特别是大电机、静电电容器、电力电缆等具有大电容值的交流电力设备,在进行交流耐压试验时,由于试验容量要求过大,故常用直流耐压试验来代替交流耐压试验。对于超高压直流输电所用的电力设备则更有必要施加直流高电压进行试验。此外,在医学、电子显微镜和原子核物理的加速器等领域都需要直流高压电源设备。

各类直流高压试验所要求的输出电流一般都不会太大,通常为数毫安至数十毫安。个别情况下,例如绝缘子的湿闪试验,电流可达 100mA ,而污闪试验则可达 1A 。

简单的直流高电压发生器 由高压试验变压器 T、高压硅堆(整流器)

V 和滤波电容器 C 所组成,如图 1 所示。这是一个半波整流电路,基本原理与低压单相半波整流电路(见整流电路)相同。其中保护电阻 R 是用来在电源合闸及试品击穿时限制电流以保护硅堆。

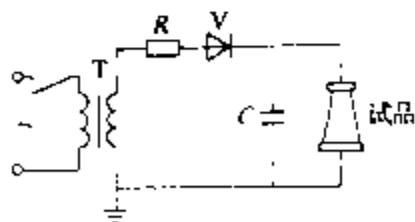


图1 高电压半波整流电路

图 2 所示为单相半波整流电路经电容滤波后的输出电压波形。由于负荷电流的影响,输出电压值有一定的脉振。电压脉振为 δU

$= \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2}$, 输出的额定直流电压的平均值为 U_d
 $\approx \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2}$, 电压脉动系数为 $s = \frac{\delta U}{U_d}$ 。国际电工委员会(IEC)标准规定 $s \leq 5\%$ 。

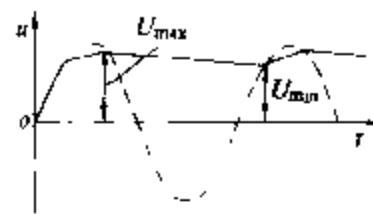
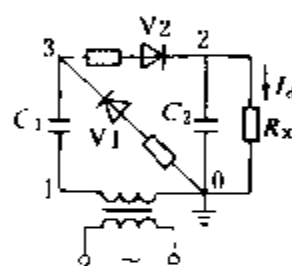


图2 半波整流装置的输出波形

若令直流电流的平均值为 I_d , 则 $s \approx \frac{I_d}{2fCU_d}$, 其中 f 为交流电压的频率。

直流高电压的倍压电路及串级电路 在需要电压更高时,直流高压电源所采用的两种电路如图 3 及图 4 所示。

图 3 的倍压原理在 I_d 极小时可简述如下:回路 0-3-1 相当于半波整流电路。当合闸后, C_1 最终可充电到



变压器二次电压的峰值 U_m 。当变压器电压交变达到 1 点相对 0 点为 $+U_m$ 时,由变压器的交流电压和 C_1 上的直流电压叠加而成的 $2U_m$ 电压可通过 V_2 向 C_2 充电,使之在充电稳定后电压值达到 $2U_m$ 。3 点的电位

在 $0 \sim 2U_m$ 的范围内变动,故 3 点与 2 点之间的电位差也在 $0 \sim 2U_m$ 之间变动, V_1 与 V_2 所承受的最大电压各为 $2U_m$ 。当考虑有负载电流后,输出的直流电压会明显低于空载下的 $2U_m$,差值称为电压降 ΔU ,另外也存在脉振 δU ,其

脉动系数: $s = \frac{\delta U}{U_d} = \frac{I_d}{2fCU_d} = \frac{1}{2fCR_x}$ 。式中 C 为图 3 中的 C_1 及 C_2 的电容量; R_x 为负载电阻。

多级串级电路的工作原理与图 3 所示的一级倍压线路基本上相同,只是压降 ΔU 和脉振 δU 会随级数的上升而明显增长,因此串级数不能太多。图 4 为两级倍压整流电路。提高整流源的频率,如提高频率至数千赫或数十千赫,可使串级直流高压发生器的压降 ΔU 和脉振 δU 减小,并可使其实现小型化。

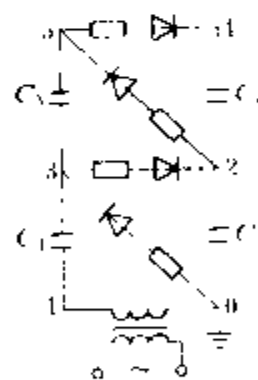


图4 两级倍压整流电路

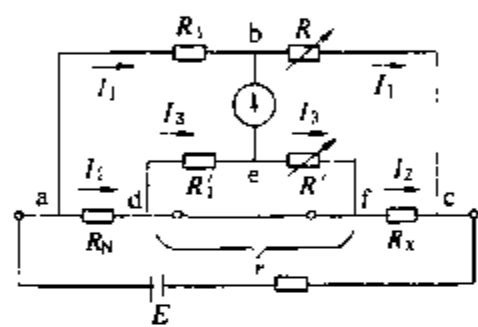
(陈昌淦)

zhiliu shuangbi dianqiao

直流双比电桥 (Kelvin bridge, Thomson bridge) 测量直流低阻值的六臂电桥, 又名开尔文电桥、汤姆逊电桥。

直流双比电桥的原理线路如图所示, 它由六个桥臂电阻 (即被测电阻 R_x 、标准电阻 R_N 、外比例臂 R_1 和 R 、内比例臂 R'_1 和 R')、指零仪 (一般用直流检流计) 和电源支路组成。图中 a、b、c、d、e、f 为电桥顶点。当电桥平衡时, 指零仪支路的两顶点 b 及 e 的电位相等, 指零仪中无电流通过, 于是可得 $R_x = \frac{R}{R_1} R_N$

+ $\frac{rR}{R'_1 + R' + r} \left(\frac{R'_1}{R_1} - \frac{R'}{R} \right)$ 。当满足 $\frac{R'_1}{R_1} = \frac{R'}{R}$ 时, $R_x = R_N R / R_1$ 。此时双比电桥具有与单比电桥相同形式的平衡方程式。



直流双比电桥原理接线图

从原理线路可知, 被测电阻 R_x 的电位端接线电阻被计入桥臂 R 和 R' 中, d 与 f 间的电流端电阻和跨线电阻 r 按 R/R_1 这一比例分配到 R_x 和 R_N 中。计算式中的 R_x 即是被测电阻的四端电阻值。因此双比电桥可准确地测量低值电阻。

为了满足 $\frac{R'_1}{R_1} = \frac{R'}{R}$ 的条件, 在制造双比电桥时都要求内、外桥臂电阻名义值相同, 即 $R_1 = R'_1$, $R = R'$ 。

双比电桥用于测量低阻值 (一般在 10Ω 以下) 电阻。由计算式可知, 附加项会引入误差。由于不可能使 R'_1 与 R_1 和 R 与 R' 完全相等, 因此使用时, 要求连接 R_x 与 R_N 的跨线电阻 r 尽量小。

(张少伟)

zhihou buchong

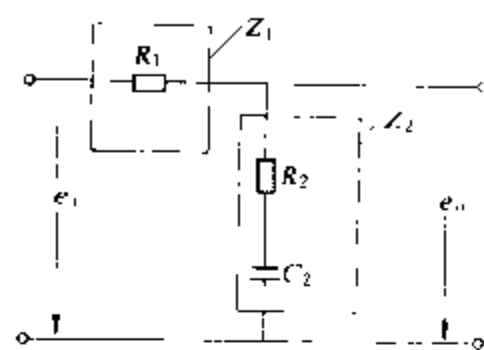
滞后补偿 (lag compensation) 为改善控制系统的稳态性能采用滞后网络对系统进行的补偿。滞后网络用得最广泛的是电的网络, 也可能是机械的、气动的、液压的或者是它们的混合形式的网络。它的输出正弦信号的相位滞后于输入正弦信号的相位, 且滞后相位角是输入正弦信号频率的函数。

图 1 (a) 为一电滞后网络, 其传递函数为

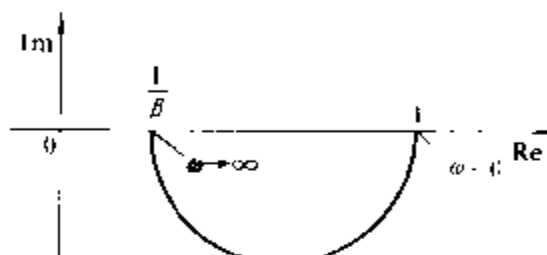
$$G_c(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{Ts + 1}{\beta Ts + 1} = \frac{1}{\beta} \left[\frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}} \right]$$

式中 $T = R_2 C_2$, $\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_2} > 1$ 。相应的频率特性为

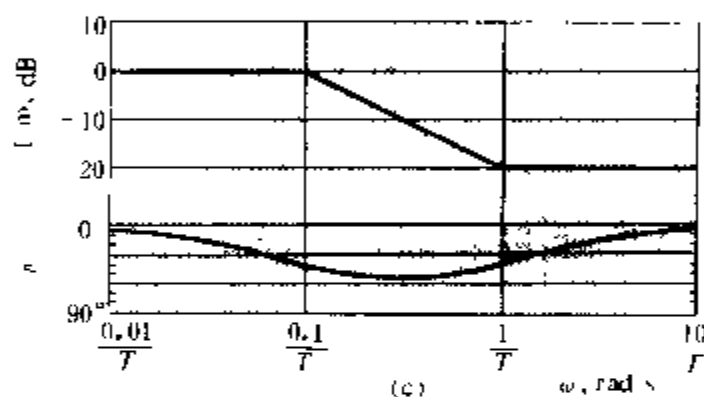
$$G_c(j\omega) = \frac{j\omega T + 1}{j\omega \beta T + 1}$$



(a)



(b)



(c)

图 1 电滞后网络及其极坐标图和对数坐标图

(a) 网络图; (b) 极坐标图; (c) 对数坐标图

图 1 (b) 为这一滞后网络的极坐标图。图 1 (c) 为其对数坐标图, $\beta = 10$, 其转角频率为 $\omega = \frac{1}{T}$ 和 $\omega = \frac{1}{\beta T}$ 。

滞后网络基本上是一个低通滤波器, 即低频信号可以通过, 高频信号被滤掉。滞后补偿可以改善系统的稳态精度, 但使动态响应有所减慢。采用滞后补偿是利用滞后网络在高频段的衰减特性, 而不是利用网络的相位滞后特性。后者没有补偿作用, 相位滞后不

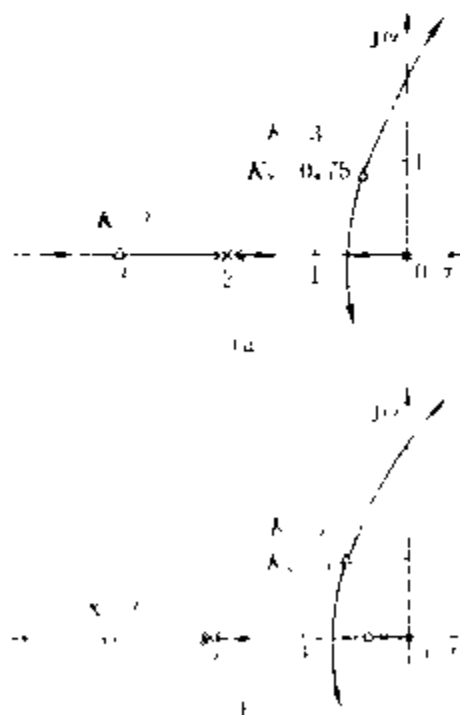


图 2 滞后补偿的例子

(a) 补偿前根轨迹图; (b) 补偿后根轨迹图

是目的。

举一个用根轨迹法设计的例子。系统的开环传递函数为 $GH = \frac{k}{s(s+2)^2}$ 。设 $k=3$ 时, 系统具有适当的动态响应, 但稳态速度误差系数太小, $K_v=0.75$, 稳态误差大, 试选一滞后补偿装置将 K_v 增为 5。

未补偿系统的根轨迹图如图 2 (a) 所示 (见根轨迹法)。可以选用传递函数为 $G_c = \frac{s+0.1}{s+0.015}$ 的滞后网络, 因为 $K_v' = K_v G_c(0) = \frac{0.75 \times 0.1}{0.015} = 5$ (见稳态误差)。图 2 (b) 示出补偿后的根轨迹图, 动态响应基本上不受影响。

滞后补偿也可用频率响应法进行设计。

(钱源平)

zhihou chaoqian buchang

滞后-超前补偿 (lag-lead compensation)

为同时改善控制系统的稳态性能和动态响应, 采用滞后-超前网络对系统进行的补偿。滞后-超前网络用得最广泛的是电的网络, 也可能是机械的、气动的、液压的或者是它们的混合形式的网络。它的输出正弦信号的相位移是输入正弦信号频率的函数。当输入正弦信号的频率从零起增大时, 越过某个 $\omega = \omega_1$, 输出正弦信号的相位从滞后变到超前, 即相位滞后和超前发生在不同的频带上。超前补偿主要改善系统的瞬态响应速度, 而滞后补偿可使系统的稳态性能获得改善, 但却使响应速度有所减慢。滞后-超前补偿兼有滞后补偿和超前补偿的特性。

图 (a) 示一电滞后-超前网络, 其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{\left(\frac{T_1}{\beta} s + 1\right)(\beta T_2 s + 1)}$$

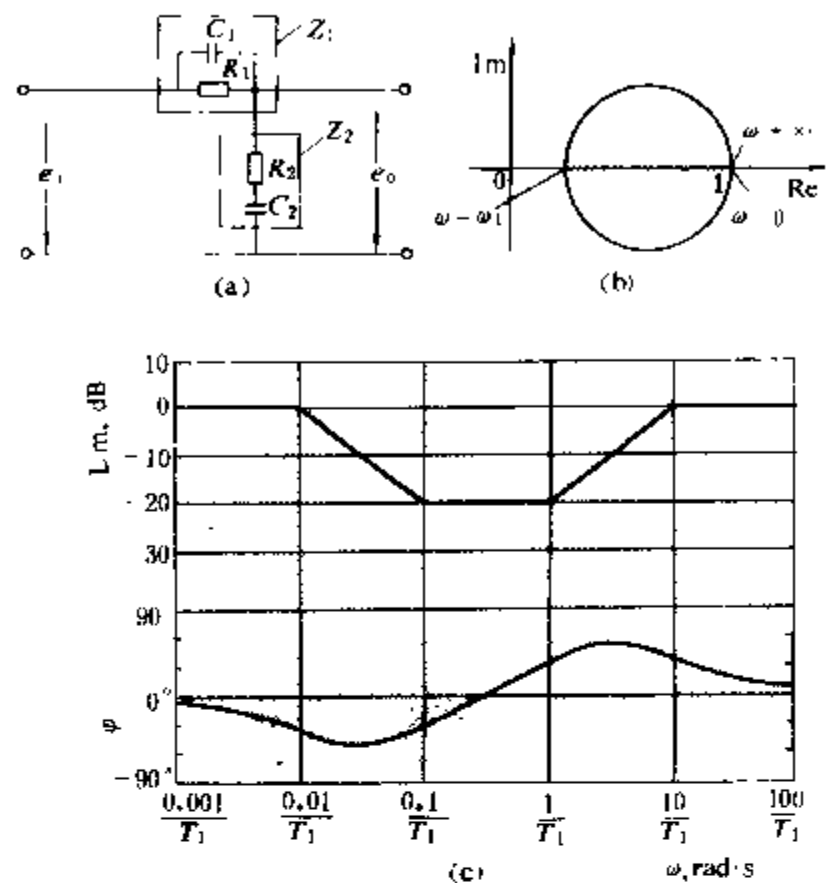
$$= \frac{s + \frac{1}{T_1}}{s + \frac{\beta}{T_1}} \times \frac{s + \frac{1}{T_2}}{s + \frac{1}{\beta T_2}} \quad (\beta > 1)$$

式中 $T_1 = R_1 C_1, T_2 = R_2 C_2, \frac{T_1}{\beta} = \beta T_2 = R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_1 C_2$ ($\beta > 1$)。 $G_c(s)$ 表达式中第一项产生超前网络作用, 第二项产生滞后网络作用。

图 (b) 为这一滞后-超前网络的极坐标图。可以看出, 当 $0 < \omega < \omega_1$ 时, 它起滞后网络的作用; 而当 $\omega_1 < \omega < \infty$ 时, 它起超前网络的作用。相应于相角等于 0 那点的频率 ω_1 为

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}}$$

图 (c) 是当 $\beta=10$ 和 $T_2=10T_1$ 时, 滞后-超前网络的对数坐标图。在低频段和高频段, 幅频特性曲线都为 0 dB, 即无衰减, 而中间有一个频带衰减显著, 因此滞后-超前网络可视作“带除滤波器”。



电滞后-超前网络及其极坐标图

和对数坐标图

(a) 网络图; (b) 极坐标图; (c) 对数坐标图

举一个用根轨迹法设计的例子。一全负反馈系统, 其被控对象的传递函数为 $G_2 = K / [(s+8)(s+14)(s+20)]$, 设计补偿装置, 性能指标的要求如下: ①过调量 $\leq 5\%$; ② $10\% \sim 90\%$ 上升时间 $T_r \leq 150 \text{ ms}$; ③稳态位置误差系数 $K_p > 6$ 。

$\zeta \geq 0.7$ 的一对共轭根点, 可以满足过调量 $\leq 5\%$ 的要求, (见动态响应)。同时, 从响应曲线上可以看出, 对应于 $\zeta=0.7$, 10% 至 90% 上升时间约为 $\omega_n T_r = 2.2$ 。为了满足第二条要求, 应有 $T_r = 2.2 / \omega_n \leq 0.15 \text{ s}$ 或 $\omega_n > 14.7 \text{ rad/s}$, 现选用 $\omega_n = 17$, 使有一些裕量。

对于 $\zeta=0.7, \omega_n=17$ 的二阶系统, s_1 和 s_1^* 是方程 $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$ 的根, $s_1 = -12 + j12, s_1^* = -12 - j12$ 。在 s 平面上计算, $\angle G_2(s_1) = -245^\circ$ 。要使 s_1 处于根轨迹上, 应使幅角为 -180° (见根轨迹法), 即需要加 65° 的超前校正。现选择零点在 $s = -8$, 极点在 $s = -25$ 的超前网络, 其超前相角恰好是 $108^\circ - 43^\circ = 65^\circ$, 于是加上超前补偿的开环传递函数为

$$G_2 G_a = \frac{K}{(s+8)(s+14)(s+20)} \times \frac{(s+8)}{(s+25)}$$

$$= \frac{K}{(s+14)(s+20)(s+25)}$$

为了满足在 s_1 点的幅值判据, 算出来的 K 值应为

3100。但在这样情况下, 稳态位置误差系数 $K_p = \frac{3100}{14 \times 20 \times 25} = 0.443$ (见稳态误差), 远低于要求的指标。这就是说, 用了超前补偿, 前两条要求是满足了, 后一条要求没有满足。

因此, 还要再考虑滞后补偿。现选 $G_h = \frac{s+1}{s+0.075}$,

总的补偿是 $G_c G_h = \frac{(s+8)(s+1)}{(s+25)(s+0.075)}$, 总的开环传递函数为 $GH = 3100(s+1)/[(s+0.075)(s+14) \times (s+20)(s+25)]$, 于是, 所提出的全部要求都已满足。

滞后-超前补偿也可用频率响应法进行设计。

(钱源平)

zhongduan xitong

中断系统 (interrupt system) 处理机完成中断功能的机构。在程序运行时, 若系统外部、内部或现行程序本身出现紧急事件, 处理机必须强行中止现行程序的运行, 保护处理机现场状态, 并转入相应程序去处理这些事件, 处理完后, 恢复现场状态, 转回现行程序继续运行。这一过程称“中断”。

中断系统由专门的硬件和软件构成。硬件包括中断事件的监测与识别、中断的控制、中断向量地址形成以及中断优先权仲裁等逻辑部件。软件包括中断控制和中断服务程序等。

功能 现代计算机中采用中断系统的主要目的是: ①提高计算机系统效率。计算机系统中处理机的工作速度远高于外围设备的工作速度。通过中断可以协调它们之间的工作。当外围设备需要与处理机交换信息时, 由外围设备向处理机发出中断请求, 处理机及时响应并作相应处理。不交换信息时, 处理机和外围设备处于各自独立的并行工作状态。②维持系统可靠正常工作。现代计算机中, 程序员不能直接干预和操纵机器, 必须通过中断系统向操作系统发出请求, 由操作系统来实现人为干预。主存储器中往往有多道程序和各自的存储空间。在程序运行过程中, 如出现越界访问, 有可能引起程序混乱或相互破坏信息。为避免这类事件的发生, 由存储管理部件进行监测, 一旦发生越界访问, 向处理机发出中断请求, 处理机立即采取保护措施。③满足实时处理要求。在实时系统中, 各种监测和控制装置随机地向处理机发出中断请求, 处理机随时响应并进行处理。④提供故障现场处理手段。处理机中设有各种故障检测和错误诊断的部件, 一旦发现故障或错误, 立即发出中断请求, 进行故障现场记录和隔离, 为进一步处理提供必要的依据。

中断源分类 导致处理机中断的原因是多方面的, 一台处理机有多个中断源。按其性质可分为五类: ①硬件故障中断。包括电源故障、运算器误动作、主存或通道中数据传送出错、处理机其他硬件故障等。②输入输出中断。如键盘输入时, 每按一次键, 请求处理机取走已输入的信息; 打印机在输出时, 每完成一次打印动作, 即向处理机请求送出下一个待打印的信息。③程序性中断。现行程序本身的异常事件引起的, 如指令中出现非法操作码, 寻址范围超过主存容量, 除数为 0, 结果溢出以及在程序调试中到达预定跟踪的状态等。④外中断。来自控制台中断开关、计数器、定时器及其他设备的中断。这类中断实时性强, 处理简单。⑤调用管理程序。用户程序中利用“调用管理程序”指令(或称“访管”指令)发出中断请求, 实现用户程序和操作系统之间的联系。

前四类中断是随机的, 称“强迫性中断”, 第五类中断是程序员控制的, 称“自愿性中断”。

中断优先权 在某一时刻有几个中断源同时发出中断请求时, 处理器只响应其中优先权最高的中断源。当处理机正在运行某个中断服务程序期间出现另一个中断源的请求时, 如果后者的优先权低于前者, 处理机不予理睬, 反之, 处理机立即响应新的中断, 进入所谓的“嵌套中断”。中断优先权的排序按其性质、重要性以及处理的方便性决定, 由硬件的优先权仲裁逻辑或软件的顺序询问程序来实现。

中断控制 通过处理机提供的专用指令实现中断的控制。如“允许中断”和“禁止中断”指令可控制处理机能否响应中断, 对应每个中断源设有一个屏蔽位, 利用“中断屏蔽”指令对每个屏蔽位置 1 或置 0, 以实现每个中断源的控制。“中断屏蔽”指令可局部地调整中断优先权, 提高中断控制的灵活性。

中断过程 按照事件发生的顺序, 中断过程包括: ①中断源发出中断请求; ②判断当前处理机是否允许中断和该中断源是否被屏蔽; ③优先权排队; ④处理机执行完当前指令或当前指令无法执行完, 则立即停止当前程序, 保护断口地址和处理机当前状态, 转入相应的中断服务程序; ⑤执行中断服务程序; ⑥恢复被保护的状态, 执行“中断返回”指令回到被中断的程序或转入其他程序。上述过程中前四项操作是由硬件完成的, 后二项是由软件完成的。

向量中断 对应每个中断源设置一个向量。这些向量顺序存在主存储器的特定存储区。向量的内容是相应中断服务程序的起始地址和处理机状态字。在响应中断时, 由中断系统硬件提供向量地址, 处理机根据该地址取得向量, 并转入相应的中断服务程序。

(陶 欣)

zhongyang chuliqi

中央处理器 (central processing unit)

计算机硬件系统中解释和执行指令的部件,简称CPU。指令是用一组二进制代码定义的一个命令字,它是机器语言的基本语句。CPU所能执行的指令的集合称指令系统,是CPU性能特征和内部结构的主要决定因素。

中央处理器由运算器和控制器组成。此外,通用寄存器和堆栈机构也是两个常用部件。

运算器 执行算术运算和逻辑运算的部件,又称算术逻辑部件(ALU)。算术运算包括加、减、乘、除四则运算;根据数据的不同表示方法,又分为二进制和十进制、定点和浮点、原码、反码和补码运算等;根据数的结构类型,又分为标量运算和向量运算。逻辑运算包括:“与”、“或”、“非”、“异或”和“比较”等操作。

运算器的字长有二进制8位、16位、32位或64位等。

运算器主要由寄存器和执行部件两部分组成。寄存器包括接收和保存一个操作数的接收寄存器,保存另一个操作数和运算结果的累加寄存器,乘、除运算时保存乘数或商数的乘商寄存器等;执行部件包括一个并行加法器和各种类型的输入控制门电路。运算器的操作是在控制器控制下进行的。

控制器 处理器执行指令过程中,为各个功能模块提供微操作控制信号的部件。控制器由指令寄存器、指令计数器、译码电路、状态寄存器、定时系统和微操作控制信号形成电路等组成。指令计数器存放指令的地址,根据此地址从主存储器读取指令,并存入指令寄存器,经译码电路确定指令功能,在定时系统提供的节拍信号控制下有序地向存储器、运算器以及各寄存器发出一系列微操作控制信号(如运算器的加/减、存储器的读/写、寄存器的清零/置数、移位等),实现指令规定的功能。完成一条指令所经过的节拍周期之和称指令周期,是表征处理器速度的重要参数。指令执行后的状态信息(如结果是否为零、是否溢出、有无进位等)存入状态寄存器,为系统管理指令和条件转移指令等提供必要的状态信息,以便中央处理器实现对系统的管理或程序的分支。中断系统的硬件支持也是控制器的重要组成部分。它由中断请求寄存器、中断屏蔽寄存器以及中断优先级仲裁逻辑等组成。

通用寄存器 是中央处理器的重要部件。主要作用是:①暂存操作数或中间结果,以减少处理器访问主存储器的频度,提高处理指令执行的速度。因为通用寄存器的读/写操作可以在处理器一个时钟周期内完

成,远小于主存储器的存取周期。②输入输出过程中数据缓冲,以便实现处理机与外围设备之间的同步和数据格式的匹配。③兼作某些特殊寄存器用,如变址寻址方式中的变址寄存器,堆栈结构中的堆栈指针等。

堆栈 中央处理器中的重要部件,它是按“后进先出”规则存取信息的特殊存储器,有“栈底”、“栈限”和“栈顶”三个指针寄存器。“栈底”指向堆栈的底部地址,“栈限”指示栈的长度,“栈顶”指向堆栈顶部地址。堆栈的读/写操作,总是针对“栈顶”所指的单元,操作后“栈顶”指针自动递增或递减。根据“栈底”和“栈限”可判断是否超越栈底或栈的长度。堆栈可以由设置在主存储器的某一区域或用-一个独立的存储器构成。堆栈主要应用于:①对零地址指令系统的处理器为运算器提供操作数和存放运算结果的部件;②在中断系统中压入或弹出所保护的断口地址和处理机状态信息;③在子程序调用和子程序返回指令中保护和恢复子程序返回地址。利用堆栈,可以方便地实现多级嵌套中断、多重子程序嵌套和递归调用。

(陶 欣)

zhongduan shebei

终端设备 (terminal) 通过通信设备发送程序和数给计算机或接收计算机输出的设备,简称终端。它是20世纪60年代中期随大型计算机分时处理系统的建立而发展起来的。一般在地区分散的工作场所或办公室的用户设置终端设备。终端又是入机接口设备,因而是交互式的。

组成 通常由键盘、终端控制器和阴极射线管(CRT)显示器组成,故又称显示终端。①键盘。由一组按键组成,供用户输入数据和命令。②终端控制器。由微处理器、存储器和CRT控制器组成。其功能有:接收并解析键盘输入;控制通信口的数据输出输入;支撑复杂图形变换运算,存储用户图形数据,建立终端显示文档;卸载主机图形处理负荷,提高实时响应。③CRT显示器。显示键盘输入字符图形。

种类 终端设备主要有文字/字符显示终端、汉字显示终端、图形显示终端、彩色图象终端等。终端控制技术向多媒体入机接口方向发展,使终端多功能化。

标准 终端要与多种主机相连接,依据工作特点可划分为通信连接层、文字处理层、图形处理层三个层次:①通信连接层。通常采用标准串行口或标准总线与主机连接,常用的是RS-232C串行口。②文字处理层。终端与主机信息交换采用ASCII码。东方语系国家的计算机,终端采用了与西文兼容开发的策略,如中国开发的“汉卡”。③图形处理层。图形显示终端连机

接口标准化是计算机图形系统标准化的一部分。

(王品常)

zhucunchuqi

主存储器 (main memory) 在主机内部存放指令和数据,由中央处理器随机访问的存储器,亦称内存。主存储器的每个单元都有自己的编码地址,中央处理器按地址访问任一单元。主存储器是计算机的必备部分,现代计算机系统是以主存储器为中心,通过总线可与中央处理器、外围设备等交换数据。主存储器的主要性能指标是存储容量和存取速度。

主存储器的组成 它主要由四部分组成:①存储单元集合体,简称存储体,用于存放二进制形式的程序和数据;②地址寄存器及地址译码器,用于存放由中央处理器送来的地址,并对它进行译码;③读写控制电路,按地址寄存器中的内容控制给定地址单元的读写操作;④数据寄存器,用于存放欲写入存储体中的数据,或暂存从存储体中读出的数据。

提高主存储器存取速度的途径 主要途径有二:①元件的更新换代。在20世纪50~60年代主要用磁芯存储体来构成主存储器,在70年代逐步用半导体存储器来取代磁芯存储器,以提高主存的存取速度并简化存储器的制作工艺。②计算机体系结构的改进。采用多模块的交叉访问技术,中央处理器可以同时从多个能并行工作的存储模块中,取出指令和数据,从而提高并行操作程度,缩短指令和数据的平均存取时间。

(胡德河)

zhujiti

驻极体 (electret) 一种具有持久性极化的固体电介质。驻极体可以在周围空间产生电场,因此是可以类比于永磁体的一种带电体。驻极体效应只存在于电导非常低或剩余极化相当稳定的电介质中。要使电介质显示出驻极体效应必须对材料进行预极化或电荷注入等处理。用钛酸钡陶瓷等铁电材料可以制成驻极体。驻极体中存在着由剩余极化引起的体束缚电荷和表层附近的自由电荷,二者符号相反。一般来说,驻极体的有效电荷 σ 的变化取决于束缚电荷和自由电荷的变化。

驻极体的性质主要表现在驻极体所建立的电场和驻极体的压电效应等方面。当电极和驻极体接触很紧密时(如烧渗银电极),驻极体内部的电场为零。通常为了防止驻极体在存放过程中失效,总是在这种状态下保存驻极体。此时驻极体的压电效应是由于它的表面有效电荷 σ 在外界应力作用下发生变化所致,这种压电效应被称为驻极体的真实压电效应。当电极和驻

极体有不很大的间隙时,驻极体内外的电场强度都很高,此时驻极体的压电效应仅与驻极体和电极之间的间隙变化有关,这种压电效应被称为准压电效应。

驻极体的用途广泛,如用于扬声器、耳机、传声器、送话器、各式换能计、放射性剂量计等。

(余尚银)

zhuanjia xitong

专家系统 (expert systems) 应用人工智能技术的一种智能化计算机软件。它能应用知识和推理来解决特定专业领域的问题,而这些问题因其困难程度原来是需要专家才能解决的。因此它的解题过程可以作为一个专家运用专业知识的模型。

发展 直到20世纪60年代末,人工智能的研究一直企图设计出通用的问题求解器,所采用的方法是搜索。但是,在解决实际问题时,其搜索量之大,即使应用最大最快的计算机也完成不了。于是另辟途径,研究针对特定问题的求解器,即专家系统。最早出现的两个专家系统是DENDRAL和MACSYMA。DENDRAL系统在输入物质的质谱和核磁共振的数据后,可以确定该物质的化学分子结构。MACSYMA系统能将复杂的数学表达式进行代数运算后加以简化。此后又出现了能诊断传染病并开处方的MYCIN系统,它非常符合医师们的诊断和处方。由此专家系统引起学术界的重视。70年代后期开始在科学研究、医学、教育、工业、商业、农业和国防等各个领域开发出众多的专家系统。专家系统被认为是人工智能中最具应用潜力的分支。80年代中期起,专家系统从实验室应用转向商品化大规模的推广,预期在90年代会发展成一种重要的软件产品。

组成 专家系统的性能水平,基本上是由它所拥有的知识的数量和质量所决定的。现在的技术,还不能够对于包罗万象的大量知识进行管理,所以专家系统只能局限于拥有一个狭窄领域内的知识,并解决这个领域内的问题。专家系统又称为基于知识的系统。

知识库和推理机是专家系统的核心部分。

(1) 知识库:包含领域的知识,它包括了事实(数据)和启发性知识。事实是描述客观世界的命题。启发性知识是专家个人解决问题作出判断所用的经验,通常表示为如下的规则形式:

“如果:〈前提〉,于是:〈后果〉”

应用规则的推理是:当前提与知识库中的一些事实相匹配时,采取后果所指示的行动,通常是改变或增添新的事实于知识库。知识库中的知识也可以用其他方式表达,如谓词逻辑、语义网络和框架等。

(2) 推理机:控制知识库中的知识对事实进行一

连串的推理,直到达到目标。当有多个知识都可以与事实相匹配时,它要运用一定的策略从中只挑选一个知识予以“激发”。

在传统的程序中,领域知识通过数学模型蕴含于算法之中,是和程序固定在一起的。但是专家系统中的领域知识是独立于控制机构而存于知识库中,因此可以方便地增添和修改,不影响程序,这就是系统的“柔性”。

建造一个专家系统的过程通常称为“知识工程”。它常常通过专家系统的构造者(称为知识工程师)和人类专家之间的相互合作而完成。知识工程师从专家那里通过对话抽取他们求解问题的过程、策略和经验规则,然后把这些知识建造在专家系统之中。知识的获取是一项费时而又困难的任务,它是当前开发专家系统工作的瓶颈。

(何志均)

zhuangtai fankui

状态反馈 (state feedback) 见线性二次型最优控制。

zhuangtai guanceqi

状态观测器 (state observer) 利用系统输出量和输入量来观测、或重构、或估计状态的装置,又称状态重构器或状态估计器。无论是调节器还是跟踪问题,实现最优控制都必须取得全部状态变量以实施状态反馈(见线性二次型最优控制),然而在工程实际中,往往有些状态变量是难以甚至不能测到,只能获得次优控制,因此需要建立状态观测器以重构状态。

定常系统的方程为

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) \quad (1)$$

式中 x 为 n 维状态向量; u 为 p 维输入向量; y 为 q 维输出向量。

对于可观系统,可构造一个状态观测器,其框图如图所示。

状态观测器的动态方程为

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu - K(\hat{y} - y); \quad \hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \quad (2)$$

$$\text{亦即} \quad \dot{\hat{x}} = (A - KC)\hat{x} + Bu + Ky \quad (3)$$

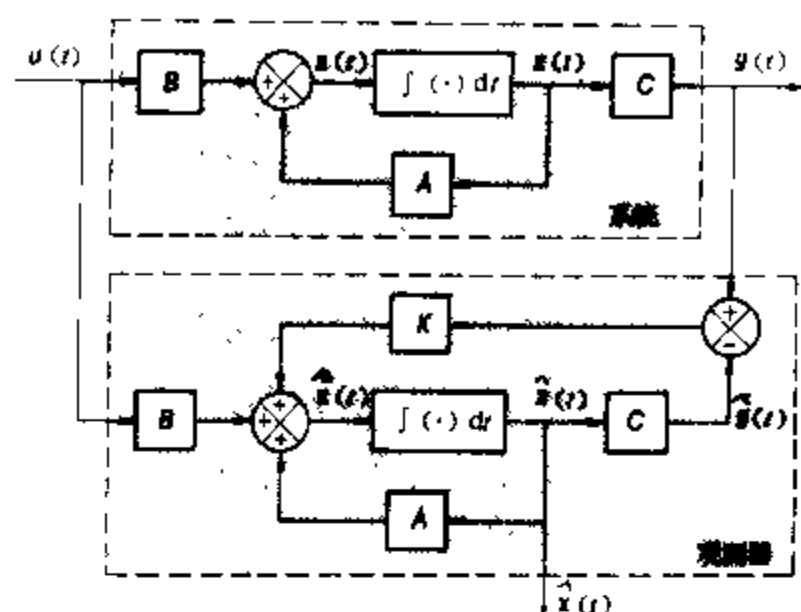
状态观测器是在等效模型的基础上,加入了以 KC 为反馈阵的从 \hat{x} 到 \hat{x} 的负反馈系统。它有两个输入:一个是实际系统的控制作用 u ; 一个是实际系统的输出 y 。它的输出就是估计状态 \hat{x} 。

由式(1)、(2)可得估计误差的动态方程

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} - \dot{x} &= A(\hat{x} - x) - K(\hat{y} - y) \\ &= (A - KC)(\hat{x} - x) \end{aligned} \quad (4)$$

其解为

$$\hat{x}(t) - x(t) = e^{(A-KC)t}[\hat{x}(t_0) - x(t_0)] \quad (5)$$



控制系统和状态观测器

应使 $\hat{x}(t)$ 能迅速紧跟 $x(t)$, 使得 $\lim_{t \rightarrow \infty} [\hat{x}(t) - x(t)] = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} [\hat{y}(t) - y(t)] = 0$ 。应合理选择 K , 使 $A - KC$ 的特征值具有负实部且其绝对值足够大, 令 $\hat{x}(t) - x(t)$ 迅速趋近零。

(于 渤)

zhuangtai kongjian biaodashi

状态空间表达式 (state-space representation) 由状态方程和输出方程构成, 在状态空间中对控制系统作完整表述的公式。

连续系统的状态空间表达式 状态方程是由控制系统的状态变量和控制变量构成的一阶微分方程组。输出方程是该系统输出变量与状态变量和控制变量的函数关系式。它们一般表示为

$$\begin{cases} \text{状态方程} & \dot{x} = f(x, u, t) \\ \text{输出方程} & y = g(x, u, t) \end{cases} \quad (1)$$

式中 f, g 为向量函数; x 为 n 维状态向量; u 为 p 维控制向量; t 为时间变量; \dot{x} 为状态变量关于 t 的一阶数分向量; y 为 q 维输出向量。

如果所推述的控制系统是线性的, 则状态空间表达式为

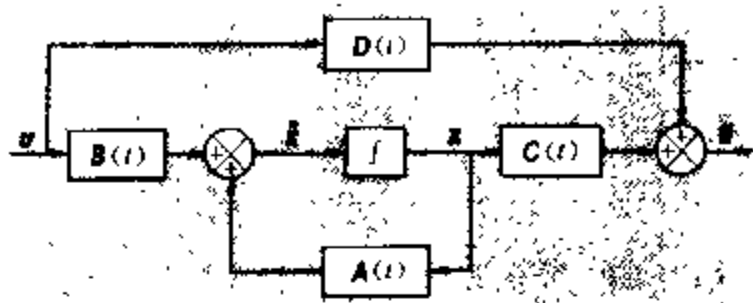
$$\begin{cases} \dot{x} = A(t)x + B(t)u \\ y = C(t)x + D(t)u \end{cases} \quad (2)$$

式中 $x \in R^n, y \in R^q, u \in R^p$ 。通常, $q \leq n, p \leq n, A(t)$ 为 $n \times n$ 维系统矩阵, $B(t)$ 为 $n \times p$ 维输入矩阵, $C(t)$ 为 $q \times n$ 维输出矩阵, $D(t)$ 为 $q \times p$ 维前馈矩阵。

如果式(1)中的函数 f, g 或式(2)中的 A, B, C, D 不依赖于时间变量 t , 则该控制系统是定常的。线性定常控制系统的状态空间表达式为

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (3)$$

式中矩阵 A 、 B 、 C 和 D 均为常数矩阵。图为式 (2) 所示的状态空间表达式表述的控制系统的框图。



状态空间表达式的系统框图

线性离散时间系统的状态空间表达式 线性离散时间系统的状态空间表达式为

$$\left. \begin{aligned} x(kT + T) &= G(kT)x(kT) + H(kT)u(kT) \\ y(kT) &= C(kT)x(kT) + D(kT)u(kT) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 $k=0, 1, 2, \dots$; T 为采样周期。

如果控制系统又是定常的, 则其状态空间表达式为

$$\left. \begin{aligned} x(kT + T) &= Gx(kT) + Hu(kT) \\ y(kT) &= Cx(kT) + Du(kT) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

状态空间表达式的非唯一性及其变换 描述一个给定控制系统的状态变量不是唯一的, 即可以选择不同的状态变量。因此, 其状态空间表达式也不是唯一的。以线性定常连续控制系统为例, 对其状态向量 x 作线性变换, 使得 $x = T\tilde{x}$, 其中 T 为任何非奇异 $n \times n$ 维矩阵。若以 \tilde{x} 为状态向量, 则该系统的状态空间表达式为

$$\left. \begin{aligned} \dot{\tilde{x}} &= \tilde{A}\tilde{x} + \tilde{B}u \\ y &= \tilde{C}\tilde{x} + \tilde{D}u \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中 $\tilde{A} = T^{-1}AT$; $\tilde{B} = T^{-1}B$; $\tilde{C} = CT$; $\tilde{D} = D$ 。上述变换也称为坐标变换或基底变换。一个控制系统的状态空间表达式可以有許多不同的形式, 但所有表达式的系统矩阵的特征值是不变的。一个 n 维的控制系统 (即系统矩阵 A 为 $n \times n$ 维矩阵) 有且仅有 n 个特征值。对实常数矩阵 A 而言, 其 n 个特征值或为实数, 或为共轭复数对。如果 A 是实对称阵, 则其特征值必为实数。为了分析和综合的简便, 规定了称为规范型的几种状态空间表达式。

状态空间表达式的求解 对于线性定常控制系统, 如果假定它的初始状态 $x(0) = 0$, 那么进行拉普拉斯变换后其状态空间表达式可以表示为

$$\left. \begin{aligned} X(s) &= (sI - A)^{-1}BU(s) \\ Y(s) &= [C(sI - A)^{-1}B + D]U(s) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中 I 为 $n \times n$ 维单位矩阵; s 为复变数; $(sI - A)^{-1}B = W_x(s)$, 称为输入-状态传递函数矩阵; $C(sI - A)^{-1}B + D = W(s)$, 称为输入-输出传递函数矩阵。一个线性

定常控制系统的输入-输出传递函数矩阵是不随状态空间表达式的不同而改变的。

对状态空间表达式求解就是解一阶微分方程组。假定状态空间表达式有解且有唯一的解, 则式 (2) 所示线性时变控制系统状态空间表达式的解为 $x(t) = \Phi(t, t_0)x(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)B(\tau)u(\tau)d\tau$ 。式中前面一部分是初始时刻状态 $x(t_0)$ 的转移, 后面一部分是由控制作用激励的转移。如式 (3) 所示的线性定常控制系统状态空间表达式的解为 $x(t) = \Phi(t - t_0)x(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t - \tau)Bu(\tau)d\tau$ 。 $\Phi(t, t_0)$ 和 $\Phi(t - \tau)$ 称为状态转移矩阵。

连续系统状态空间表达式的离散化 在利用数字计算机求解连续时间控制系统的状态空间表达式时, 或者对连续受控对象实行计算机控制时, 可以把连续时间控制系统变换为离散时间控制系统。这时两个状态空间表达式之间满足如下条件

$$\left. \begin{aligned} G(kT) &= \Phi[(k+1)T, kT] \\ H(kT) &= \int_{kT}^{(k+1)T} \Phi[(k+1)T, \tau]B(\tau)d\tau \\ C(kT) &= [C(t)]_{t=kT} \\ D(kT) &= [D(t)]_{t=kT} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

如式 (4) 所示的初始时刻为 hT 的线性离散时变控制系统状态空间表达式的解为 $x(kT) = \Phi(kT, hT)$

$\times x(hT) + \sum_{i=h}^{k-1} \Phi[kT, (i+1)T]H(iT)u(iT)$ 。如

式 (5) 所示的初始时刻为 hT 的线性离散定常控制系统状态空间表达式的解为 $x(kT) = G^k x(hT) + \sum_{i=h}^{k-1} G^{k-(i+1)}Hu(iT)$ 。

控制系统的实现 对于结构和参数已知的控制系统, 可以根据系统运动的规律 (物理的、化学的、生物的或社会的等) 直接建立其状态空间表达式。例如, 根据框图或高阶微分方程式建立系统的状态空间表达式。但如果系统内部结构不知道或不完全知道, 也得不到它的微分方程式, 则需要用其他的方法建立。可行的办法是由实验确定系统的输入-输出特性, 例如传递函数矩阵或冲激响应函数阵, 然后导出相应的状态空间表达式。这样的方法称为实现问题。

对于线性定常控制系统, 实现问题的基本属性为:

(1) 如果对给定的一个传递函数矩阵 $W(s)$, 找到一个状态空间表达式

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \right\} \text{ 简写为 } (A, B, C, D) \quad (9)$$

使 $W(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$ 成立, 则称 (A, B, C, D) 为

具有传递特性 $W(s)$ 的系统的实现。它本质上是一个状态空间领域内的假想结构，与真实系统具有相同的传递特性。

(2) 并不是任意给定的 $W(s)$ 都可以找到其对应的状态空间表达式的。要满足可实现性条件： $W(s)$ 的元素（传递函数） $w_{ik}(s)$ ， $i=1, 2, \dots, q$ ， $k=1, 2, \dots, p$ ，其分子多项式的次数必须低于或等于分母多项式的次数。对于定常系统， $w_{ik}(s)$ 中分子、分母多项式的系数均为实常数。

(3) 实现不是唯一的，即状态空间表达式不是唯一的。它们可以是代数等价的或代数不等价的。

(4) 对于给定的 $W(s)$ ，一定存在一类维数最低的实现，称为最小实现。它反映了 $W(s)$ 的假想结构的最简形式。最小实现的充要条件是 (A, B, C, D) 为完全可控和完全可观测的。最小实现也不是唯一的。不同的最小实现其维数相同且代数等价。如果真实系统不是完全可控和可观测的，最小实现结构上只是代数等价于真实系统中可控且可观测的那一部分。

参考书目

郑大钟，石统一，自动控制原理与系统，北京：国防工业出版社，1980

须田信英等，自动控制中的矩阵理论，曹长修译，北京：科学出版社，1979

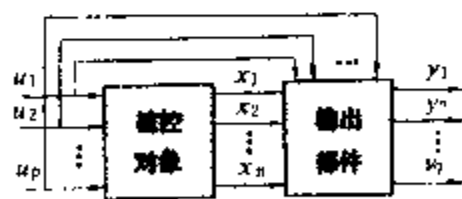
(顾锦汶)

zhuangtai kongjianfa

状态空间法 (state-space method)

建立在状态变量描述基础上的，揭示控制系统内在运动规律的一种时域分析方法。状态空间法包括给出控制系统在状态空间的描述、分析控制系统的运动规律，讨论控制系统的可控性和可观测性，以及分析控制系统稳定性等。状态空间法应用于控制系统的最佳控制、最优估计、系统辨识和适应控制等方面。

如图所示一控制系统，其中 x_1, x_2, \dots, x_n 为控制系统的状态变量； y_1, y_2, \dots, y_q 为控制系统的输出变量； u_1, u_2, \dots, u_p 为控制变量（也称输入变量）。状态变量是完全表征控制系统运动状态的一组变量（通常取为最少的）中的每个变量，也可



控制系统示意图

把这 n 个状态变量看作一个 n 维状态向量（简称状态） x 的 n 个分量。由 x_1 轴， x_2 轴， \dots ， x_n 轴所组成的 n 维空间称为状态空间。同理，也可把 p 个控制变量看作一个 p 维的控制向量（也称输入向量） u ， q 个输出

变量看作一个 q 维的输出向量 y 。

分析控制系统的运动规律，即如果已知 $t=t_0$ 时刻的状态 $x(t_0)$ ，在给定控制作用 u 下，求解 $t \geq t_0$ 时的 $x(t)$ 。

控制系统的可控性是控制系统的状态是否可以由控制向量完全实现控制的属性。控制系统的可观测性是控制系统的状态是否可以由输出向量完全实行识别的属性。

基于状态空间法的控制系统稳定性分析就是采用李雅普诺夫方法判断控制系统的稳定性。

状态空间法不仅适用于线性定常的单输入-单输出的控制系统，也适用于多输入-多输出的、非线性的、时变的连续或离散的系统。

参考书目

绪方胜彦著，现代控制工程，卢伯英等译，北京：科学出版社，1976

Csaki F. State - space Methods for Control Systems, Akademiai Kiado, Budapest, 1977

(顾锦汶)

zhuangtai zhuanji juzhen

状态转移矩阵 (state transition matrix)

使初始状态转移到新的状态，对初始状态左乘的矩阵。用于控制系统的分析计算。

线性连续系统的状态转移矩阵 一个线性时变控制系统，其状态方程是

$$\dot{x} = A(t)x$$

式中 x 为 n 维状态向量。当任何时刻 $t \geq t_0$ ， $t \in [t_0, t_a]$ 控制系统的状态为 $x(t) = \Phi(t, t_0)x_0$ ，式中 x_0 为初始时刻 t_0 控制系统的状态； $x(t)$ 是初始状态 x_0 通过状态转移矩阵 $\Phi(t, t_0)$ 的转移到达的状态。对于一个给定的控制系统， $\Phi(t, t_0)$ 是唯一的。它是以 t 为自变量的 $n \times n$ 维函数矩阵，其中 t_0 为初始时刻， t 为所考察时刻。

线性定常控制系统状态方程为 $\dot{x} = Ax$ ，式中 x 为 n 维状态向量。任何时刻 $t \geq t_0$ ， $t \in [t_0, \infty]$ 的状态为 $x(t) = \Phi(t - t_0)x_0$ ，其中 x_0 为初始时刻控制系统的状态； $\Phi(t - t_0)$ 为状态转移矩阵，它的数学表达式为 $e^{A(t-t_0)}$ ，称为矩阵指数函数。为使表达式简洁，取 $t_0 =$

0，则有 $e^A = I + At + \frac{1}{2!}A^2t^2 + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!}A^k t^k$ 。它有如下性质：①对任意 n 阶方阵 A ，在任何有限闭区间上具有均匀收敛性。②如果 t' 和 s 为两个独立的自变量，则必有 $e^{A(t'+s)} = e^{At'}e^{As}$ 。③ e^A 非奇异，它必有逆，为 e^{-A} 。④如有 $n \times n$ 维矩阵 A 和 B ，且存在 $AB = BA$ ，则必有 $e^{(A+B)t} = e^{At}e^{Bt}$ ；如果 $AB \neq BA$ ，则 $e^{(A+B)t} \neq e^{At}e^{Bt}$ 。⑤ $\frac{d}{dt}e^{At} = Ae^{At} = e^{At}A$ 。⑥对任何 t ，均有 $|e^{At}| = e^{(\text{tr}A)t}$ 。

其中 $|e^A|$ 为 e^A 的行列式, $\text{tr}A$ 为矩阵 A 的迹。⑦如果 $n \times n$ 维矩阵 A 有各不相同的特征值, 令其为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, 则 e^A 必可经非奇异变换化为

$$P^{-1}e^AP = \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 t} & & & \\ & e^{\lambda_2 t} & & \\ & & \ddots & \\ & & & e^{\lambda_n t} \end{bmatrix}$$

⑧ e^A 的数学表达式可为 A 的有限项组合, 即 $e^A = a_0(t)I + a_1(t)A + \dots + a_{n-1}(t)A^{n-1}$, 式中 $a_0(t), a_1(t), \dots, a_{n-1}(t)$ 为 t 的标量函数。

线性离散系统的状态转移矩阵 线性离散时变控制系统的状态方程为 $x(kT+T) = G(kT)x(kT)$, 式中 x 为 n 维状态向量, 在满足解存在和唯一性条件时, 在区间 $[hT, lT]$ 上任何时刻的 $x(kT) = \Phi(kT, hT)x_0$, 其中 $x_0 = x(hT)$, $\Phi(kT, hT)$ 为状态转移矩阵。

线性离散定常控制系统的状态方程 $x(kT+T) = Gx(kT)$, 式中 x 为 n 维状态向量。在区间 $[hT, lT]$ 上任何时刻 $x(kT) = G^k x_0$, 其中 $x_0 = x(hT)$; G^k 为状态转移矩阵。

参考书目

绪方胜彦著, 现代控制工程, 卢伯英等译, 北京: 科学出版社, 1976

郑大钟, 石纯一, 自动控制原理与系统, 北京: 国防工业出版社, 1980

(顾锦汶)

zichi fangdian tiaojian

自持放电条件 (self-sustained discharge criterion) 见汤森放电理论。

zidong kongzhi lilun

自动控制理论 (automatic control theory)

关于自动控制系统的构成、分析和设计的理论, 亦称控制理论。系统, 是由按一定的关系作用和制约的各个部分组成的具有一定功能的整体, 有一定的边界将系统内部与系统外部(系统环境)区分开来。如果系统的组成部分本身也是系统, 则称其为原系统的子系统, 而原系统又可以是更大的系统的组成部分。这是系统概念的相对性或层次性。控制, 是为了改善系统的性能或达到系统的目的, 通过信息采集和加工而形成的施加在系统上的作用。自动控制系统, 是代替或部分代替人的直接参与, 使生产过程或其他过程按期望规律或预定过程进行的控制系统。自动控制系统是实理自动化的主要手段。

自动控制理论是一门技术学科, 而不是这种或那

种具体的工程实践。技术学科把工程实际中所用的许多原则加以整理和总结, 使之成为理论, 把工程实际的各个不同领域的共同性显示出来, 使得人们可能有更广阔的眼界用更系统的方法来观察有关的问题。自动控制理论不讨论系统元件的详细构造和设计问题。系统与环境 and 系统各部分之间的联系是通过物质、能量或信息的传递来实理的, 而信号是信息的载体。例如, 一台运行着的发电机, 它的运行电压的高低以及高低的程度如何是一种信息, 而它的运行电压值则是一种信号。自动控制理论主要研究自动控制系统中的信号。

在自动控制理论发展的早期阶段, 它的主要应用领域是工程技术领域中的各类控制问题, 尤其是生产过程、航空和航天技术、通信技术、武器控制等方面。20 世纪 70 年代中期以来, 自动控制理论的概念和方法已应用于交通管理、生态环境、生物和生命现象研究、经济科学、社会系统等领域。自动控制理论的建立和发展, 不仅促进了自动控制技术向广度和深度的发展, 也对其他邻近的科学和技术的发展, 乃至人类的日常生活都产生着深刻的影响。自动控制理论被认为是 20 世纪在技术科学上所取得的重大成就之一。

学科的基本内容和发展

经典控制理论 采用传递函数和频率特性描述, 研究单输入单输出控制系统的控制理论。随着自动控制系统的建立, 人们致力于研究有关的理论问题。19 世纪 60 年代后期英国 J.C. 麦克斯韦 (J.C. Maxwell) 发表了第一篇自动控制理论的研究论文《论调速器》。其后, 随着研究工作的进展和成果的积累, 到了 20 世纪 20~30 年代, 这门学科被认为诞生了。进而到 40~50 年代, 这门学科被认为是成熟了(见经典控制理论)。

现代控制理论 建立在状态空间法基础上的控制理论, 可处理单变量系统和多变量系统、线性系统 and 非线性系统、定常系统和时变系统、确定性系统 and 非确定性系统(包括随机系统和模糊系统)的问题。20 世纪 50 年代开始研究, 随着一批重要成果的取得, 到 1960 年, 这门学科被认为是形成了。其后, 又取得了长足发展, 并且正在继续发展中(见现代控制理论)。

大系统理论 关于大系统的构成、分析和设计的理论, 包括大系统的建模、模型降阶、递阶控制、分散控制和稳定性等内容。大系统一般是规模庞大、结构复杂(环节多、层次多或关系复杂)、目标多样、影响因素众多、且常带有随机性的系统。20 世纪 60 年代中期萌芽, 80 年代初, 大系统理论已形成为一门学科(见大系统理论)。

与邻近学科的关系

数学 数学对于自动控制理论学科极为重要,是主要的研究工具之一。自动控制理论所要用的数学工具,随着所研究的问题的不同情况,涉及到数学的许多分支,例如常微分方程、复变函数、线性代数、矩阵理论、数值分析、偏微分方程、泛函分析、概率论、数理统计、数学规划、运筹学、微分几何、模糊数学,等等。

电子计算机科学 电子计算机是生产过程自动化的主要工具。现代控制理论处理复杂的多变量控制问题,必须用电子计算机求解。复杂自动控制系统的组成,其核心是以电子计算机为主构成的控制器。生产过程的高度自动化,只有凭借电子计算机才能实现。大系统控制和系统工程的实施,也离不开电子计算机。

控制论 控制论是研究生命体、机器和组织的内部成相互间的控制和通信的科学。N. 维纳 (N. Wiener) 和他的同事们将自动控制理论和通信理论中的基本问题加以综合,使之上升为这门新的学科。1948年 N. 维纳出版了他的奠基性著作《控制论》。控制论的建立是 20 世纪最伟大的科学成就之一。钱学森创立了工程控制论,他在 1954 年出版了专著《工程控制论》。工程控制论是控制论这门学科中能够直接应用于工程设计的部分。其后,人们又先后建立了生物控制论、经济控制论、社会控制论、人口控制论等学科。控制论具有跨学科性,可以由功能类比的方法得到启发。例如,生物控制论与人造系统控制论(包括工程控制论、经济控制论和社会控制论)之间存在着类比关系。自动控制系统、适应系统、自学习系统可与生物系统进行类比。

信息论 信息论是研究信息传输和信息处理系统中一般规律的新兴学科。自动控制理论则研究动态系统中信息(通过其载体信号)的传输和变换与系统运动的关系。

系统学 系统学是研究系统结构与功能(包括演化、协同和控制)一般规律的学科。1968 年 L. von 贝塔朗非 (L. von Bertalanffy) 出版了奠基性著作《一般系统论》。自动控制理论则是研究自动控制系统结构与功能规律的理论。系统学、一般系统论也有入称之为系统论。有一种提法:控制论、信息论和系统论是几乎同时兴起的一组综合性的横断学科。

展望 现代控制理论在迅猛发展中。大系统理论也在迅速发展。有一种意见认为:自动控制理论包括经典控制理论和现代控制理论两部分,大系统理论则是与之密切相关的另外的学科。但同时又认为:系统与控制密切相关,几乎是不可分的,因而提出了“系统控制论”这样的概括性学科名称。实际上,不存在不针对系统的控制;而系统只要有一定规模,就必然有控制。系

统控制就包括着大系统控制。控制论、信息论、系统学、数学和电子计算机科学的发展将影响和促进自动控制理论的发展。

参考书目

[美] N. 维纳著,控制论,郝季仁译,北京:科学出版社,1962

钱学森著,工程控制论,戴汝为,何善靖译,北京:科学出版社,1958

钱学森,宋健,工程控制论(修订版),上、下册,北京:科学出版社,1980,1981

冯·贝塔朗非著,一般系统论:基础、发展和应用,林康义等译,北京:清华大学出版社,1987

(于 渤)

zidong pinghengshi jiluyi

自动平衡式记录仪 (recording instrument; automatic balancing type)

利用输入信号与基准信号间的差值,引起基准信号值发生变化,使此差值自动趋于零(达到平衡状态),即基准信号能自动跟踪被测信号变化的记录仪表。它主要用于记录变化缓慢的被测量。将两个独立的自动平衡式测量机构组合起来,可以构成一个 X-Y 记录仪。

测量线路由基准电压 E 和平衡电位器 R_w 组成(见图)。由 R_w 可获得可变基准电压 U_i ; 被测信号 U_t 与 U_i 进行比较,其差值电压 ΔU 经放大器 AJ 后输出 U_m ; U_m 控制伺服电机 SM ,一方面带动记录笔 P 描绘曲线,另一方面拖动平衡电位器的可动触头,以改变基准电压 U_i 。当 $U_t = U_i$ 时, $\Delta U = 0$, 线路达到平衡,伺服电机停止转动,记录笔即停止在某一相应的位置上。

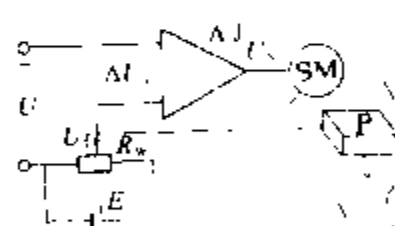
由于 U_t 与 U_i 在平衡

时大小相等,又和 R_w 上的可动触头的位置

相对应,而记录笔和可动触头连接在一起,所以记录笔每一

位置都反映了被测信号 U_t 的大小,所记录的曲线就是 U_t 连续变化的过程。

实际的自动平衡式记录仪主要由四部分组成:①输入回路中的测量线路。由衰减器、滤波器、平衡电位器以及基准电压组成,主要作用是将被测信号与可变基准进行比较。②直耦调制型放大器。由变流器(也称调制器或斩波器)、交流放大器、相敏检波解调器、直流放大器组成,主要作用是把直流缓变差值信号进行放大,使其有足够的功率输出去驱动伺服电机。③伺服电机。它是记录仪的执行机构,包括直流电机和同轴的测速发电机。④机械传动机构。它包括匀连走纸和平衡电位器触头移动机构。



自动平衡式记录仪

自动平衡式记录仪在平衡时 $U_i = U_r$ ，具有高输入阻抗 ($3 \times 10^6 \Omega$)、高灵敏度 ($2 \sim 5 \text{ cm/mV}$)、误差低 ($1\% \sim 0.3\%$) 等特点。但受伺服电机的速度限制，动态性能较差，工作频率在 1 Hz 以下，最高记录速度在 1 m/s 左右。另外，由于采用了高增益放大器作比较器，所以对输入噪声的抗干扰能力较差，一个微小的干扰信号就能使放大器进入饱和状态。

(陈欣丰)

zifajihua

自发极化 (spontaneous polarization)

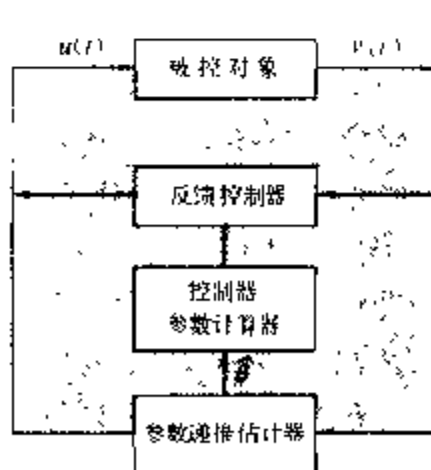
在没有外电场作用的情况下，某些晶体也产生极化的现象。凡在一定温度范围内具有自发极化现象，并且自发极化的方向能因外电场反向作用而反向的晶体称为铁电体。铁电体的自发极化并非整个晶体是同方向的。在没有外电场作用时，铁电体一般包含很多个称为电畴的小区域，由于偶极分子之间的相互作用很强，每个电畴中的分子偶极矩具有相同的方向，即产生自发极化，而相邻电畴的自发极化方向则与其相差 90° 或 180° 而相互抵消。因此，就整个铁电体而言，在无外电场作用时，宏观极化强度等于零，对外不呈现极化状态。在外电场作用下，电畴偶极矩将转向电场方向。交变电场下，铁电体的极化强度与电场强度的关系呈现出电滞回线。

铁电体的自发极化与温度有密切的关系。在低温时，铁电体中偶极分子有序地排列而出现自发极化。随着温度的上升，热运动的无序作用使得自发极化减小。当温度高于某一临界温度时，自发极化的电畴急剧消失，电滞现象也随之消失，晶体从低温的铁电相转变为高温的顺电相。这是一个相变的过程。临界温度 T_c 称为铁电体的居里点。

(金维芳)

zijiiaozheng shiyong kongzhi xitong

自校正适应控制系统 (self tuning adaptive control system)



自校正适应控制系统

利用参数的在线估计与调节器或控制器参数的自动整定的适应控制系统。它可用于系统的结构已知、但参数未知的随机系统的控制。

自校正调节器 把递推最小二乘与最小方差控制器结合在一起，如图所示。它由参数递推估计器、控制器参数

计算器和反馈控制器等三部分组成。参数递推估计器是根据对象的输入输出数据，估计被控对象的参数 θ ，并将参数估计值 $\hat{\theta}$ 送到参数计算器进行控制器的参数计算，然后将计算结果对控制器的参数进行校正，保证系统运行的性能指标达到最优或接近最优状态。

最小方差控制 设单输入单输出随机线性系统可表示为

$$A(z^{-1})y(k) = z^{-d}B(z^{-1})u(k) + C(z^{-1})e(k) \quad (1)$$

式中 $u(k)$ 、 $y(k)$ 分别是被控对象的控制和输出序列； $e(k)$ 是环境干扰，它是零均值的白噪声序列； d 是输出对输入响应的滞后时间； z^{-1} 是后移算子。

$$\left. \begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n} \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n} \\ C(z^{-1}) &= 1 + c_1 z^{-1} + \dots + c_n z^{-n} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

这里 n 是系统的阶次。

由式 (1)，可得

$$y(k) = \frac{z^{-d}B(z^{-1})}{A(z^{-1})}u(k) + \frac{C(z^{-1})}{A(z^{-1})}e(k) \quad (3)$$

将式 (3) 中的 $C(z^{-1})/A(z^{-1})$ 分解成两部分，即

$$\frac{C(z^{-1})}{A(z^{-1})} = F(z^{-1}) + z^{-d} \frac{G(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (4)$$

其中 F 、 G 分别是 $d-1$ 和 $n-1$ 次多项式，即

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + \dots + f_{d-1} z^{-(d-1)}$$

$$G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1)}$$

将式 (4) 代入式 (3) 中，等号两边分别乘以 z^{+d} 得

$$y(k+d) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}u(k) + F(z^{-1})e(k+d) + \frac{G(z^{-1})}{A(z^{-1})}e(k) \quad (5)$$

所谓最小方差控制器就是在随机干扰作用下以及输出与控制作用之间存在 d 步滞后的情况下，使实际输出 $y(k+d)$ 与要求的设定值 y_r 间的误差的方差为最小的控制器，即

$$E[y(k+d) - y_r]^2 = \min \quad (6)$$

可以求得最小方差控制律为

$$u^*(k) = [C(z^{-1})y_r - G(z^{-1})y(k)] / [B(z^{-1})F(z^{-1})] \quad (7)$$

(蒋静坪)

zongxiebo jibianlu

总谐波畸变率 (total harmonic distortion)

非正弦周期性交变量的各次谐波含有率的平方和的平方根值，简称畸变率。总谐波畸变率常采用的符号是 THD (Total Harmonic Distortion)，畸变率又称畸变因数，是非正弦周期性波形的一个重要数字特征，

用以衡量波形畸变的程度。许多国家规定,低压电力网供电电压的总谐波畸变率不得超过5%。通常认为符合这种标准的工业用电的电压波形是工业的正弦波形。

以电压畸变波形为例,其总谐波畸变率的定义是

$$\text{THD} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(100 \frac{U_n}{U_1} \right)^2} \%$$

式中 U_n 为第 n 次谐波电压的有效值, $n \geq 2$; U_1 为基波电压的方均根值,但也常用额定电压 U 代替 U_1 。

(孙树勤)

zukang

阻抗 (impedance) 见相量法。

zulang pipai

阻抗匹配 (impedance matching) 负载阻抗与电源内阻抗或与传输线特性阻抗之间的特定配合关系。前一种特定配合关系称为负载与电源的阻抗匹配;后一种特定配合关系称为负载与传输线的阻抗匹配。

负载与电源的阻抗匹配 它分共轭匹配和模匹配两种。为使可调负载从给定的电源中获取最大功率,负载阻抗 $Z = z \angle \varphi$ 与电源内阻抗 $Z_1 = z_1 \angle \varphi_1$ 间应该满足以下特定配合关系。

共轭匹配:其特定配合关系为 $Z = Z_1^*$ (Z_1^* 是 Z_1 的共轭复数),亦即 $z = z_1$, $\varphi = -\varphi_1$ 。

模匹配:其特定配合关系为 $z = z_1$ 。在模匹配下,负载获得的最大功率要比共轭匹配下的小。

负载与传输线的阻抗匹配 传输线终端处的负载阻抗与该传输线的特性阻抗彼此相等。这种情况下,在传输线终端处设有反射波,由电源端发出的人射波经传输线送至终端处的功率全部被负载所吸收。(见传输线)

(范丽娟)

zunixing fenyaoqi

阻尼型分压器 (damping voltage dividers) 见分压器。

zurancailiao

阻燃材料 (flame-resisting materials)

在热源和火源的外界环境中难燃或着火后能自熄的材料。在电子、电气工业中使用的绝缘材料和结构材料,往往在发热、高电压、放电等条件下工作,容易引起火灾,所以在矿山、轮船、高层建筑、石油化工,发电厂等场所,要求其中所用电气设备的绝缘材料是

阻燃型的。

材料阻燃性的评定 氧指数法是评价材料阻燃性的重要方法之一。所谓氧指数,就是在规定条件下,试样在氧和氮的混合气流中,维持稳定燃烧所需最低氧浓度,用混合气流中氧所占体积的百分数来表示。氧指数用来给材料的燃烧性分级。氧指数小于21者为可燃性材料;氧指数在21~27之间的称自熄性材料;氧指数大于27的为阻燃材料。

提高材料阻燃性的途径 一是人工合成本身具有高耐热性和阻燃性的材料,如氟塑料、聚酰亚胺等。二是加入无机或有机阻燃剂。无机阻燃剂中氢氧化铝使用量占首位,三氧化二锑次之。在含卤有机阻燃剂中,溴类阻燃剂的使用在迅速增长,而氯类阻燃剂则逐年减少。无公害、低烟、无卤阻燃材料是阻燃材料的发展方向。

(谢大荣)

zuhe luoji

组合逻辑 (combinational logic) 输出仅与当时输入逻辑值有关,而与它的过去输入逻辑值无关的逻辑系统。具有这种逻辑关系的电路称为组合逻辑电路,简称组合电路。在此电路中,不包含存储元件。数字系统中的译码电路、编码电路、多路选择电路、奇偶校验电路等都是组合电路。

图1是组合电路框图。 x_1, x_2, \dots, x_n 为输入逻辑变量, z_1, z_2, \dots, z_m 是输出。式 $z_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 称为组合函数,式中 $i=1, 2, \dots, m$ 。

组合电路可

看成由与门、或门、非门这三种最基本的逻辑门电路组合而成。

与、或、非逻辑门电路对应于布尔

代数中最基本的与、或、非三种逻辑运算。

设计组合电路一般步骤如下:根据对问题的文字描述建立真值表;由真值表列出组合函数;对组合函数进行简化;由简化后的组合函数画出逻辑图。

真值表 用真值值(1,0)来表示输入逻辑变量与输出函数之间关系的表格。表的左边列出所有输入的全部可能取值,表的右边列出所有对应各种不同输入取值下的输出,见图2(a)。

设计组合电路的一个例子:输入信号是 x_1, x_2, x_3 ,若三个输入中任意两个或两个以上等于“1”时有输出信号,否则不出现输出信号。它的真值表为图2(a)。由此表可写出组合函数是 $z = \bar{x}_1 x_2 x_3 + x_1 \bar{x}_2 x_3 + x_1 x_2 \bar{x}_3$

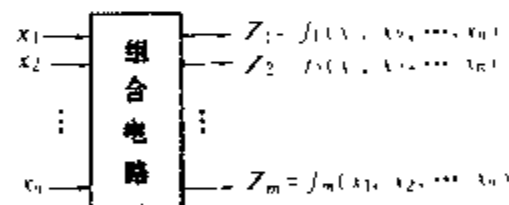


图1 组合电路框图

$+x_1x_2x_3$ 。利用布尔代数进行简化,简化后的函数是 $z = x_1x_2 + x_2x_3 + x_1x_3$ 。由简化函数式可画出如图 2 (b) 所示的逻辑图。

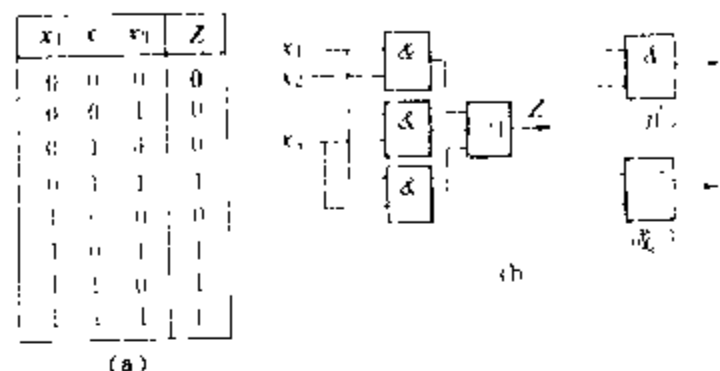


图 2 组合逻辑电路
(a) 真值表; (b) 逻辑图

对已存在的组合电路进行分析,是上述设计步骤的逆过程。

(李菊初)

zuhe luoji dianlu

组合逻辑电路 (combinational logic circuit)

任何时刻输出信号的逻辑状态仅取决于该时刻输入信号的逻辑状态,而与输入信号和输出信号过去状态无关的逻辑电路。(见组合逻辑)

由于组合逻辑电路的输出逻辑状态与电路的历史情况无关,所以它的电路中不包含记忆性电路或器件。门电路是组合逻辑电路的基本单元。

目前组合逻辑电路都已制成标准化、系列化的中、大规模集成电路可供选用。

(阎石)

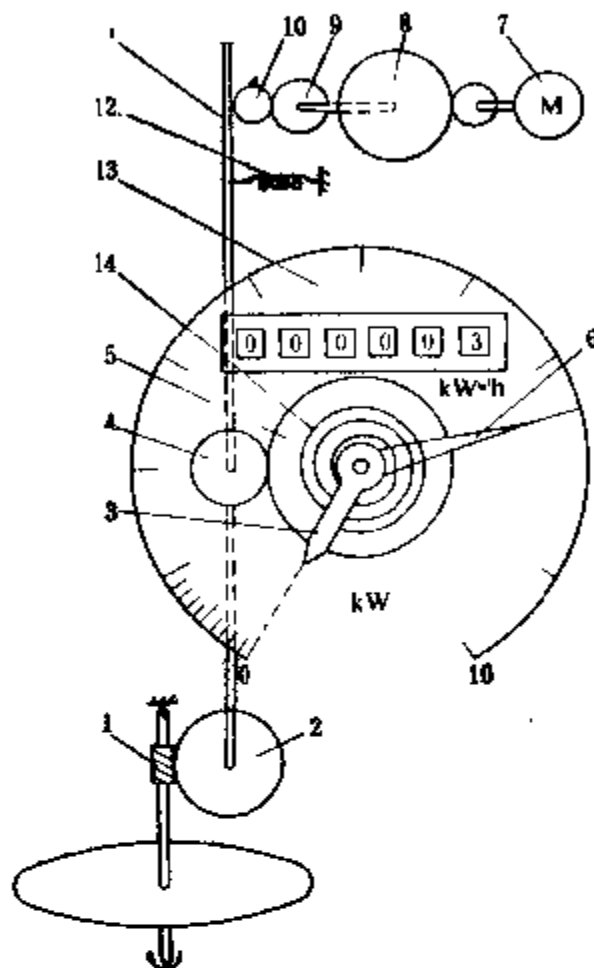
zuida xuliangbiao

最大需量表 (maximum demand meter)

指示各连续等时限内平均功率最大值的电能表。它用于记录电力用户所消耗的月平均功率最大值。

在电能表的计度器上增设最大需量指示器,其机构如图所示。圆盘的转动经蜗杆 1、蜗轮 2 传至减速齿轮 4、5。在齿轮 5 的轴上,固定有推进指针 3,其偏转角与圆盘转数成正比,可指示一定时限(例如设定为 15 min)内的平均功率值。推进指针一旦与需量指针 6 相碰便同时偏转。时限机构由同步电动机 7 经齿轮 8、9 及 10 减速。齿轮 10 的轴上固定有凸轮。每经一定时限,凸轮即推动连杆 11 一次(或将一对触点接通,使电磁铁动作,推动连杆 11 一次)。于是齿轮 4 与 5 脱开,推进指针受螺旋弹簧 14 的作用返回零位,而需量指针通过摩擦片与刻度盘 13 接触,故停留不动。经 2~3 s 凸轮旋离连杆(或触点断开),连杆受拉力弹簧 12 作用复位,齿轮 4、5 再行啮合,推进指针

又开始偏转。当平均功率超过以前值时,需量指针再被推动向前偏转。如此往复进行。一个月终了时,需量指针所指的刻度值,即为该月平均功率的最大值。记录之后用外壳上的拨杆将需量指针拨回零位,又重新记录下月的平均功率最大值。



最大需量指示器机构图

1—蜗杆; 2—蜗轮; 3—推进指针; 4、5—齿轮; 6—需量指针; 7—同步电动机; 8、9、10—齿轮; 11—连杆; 12—拉力弹簧; 13—刻度盘; 14—螺旋弹簧

最大需量表的准确级别为 1 级及 2 级,其测量电能的原理和特性与电能表相同。最大需量指示误差一般为满刻度值的 $\pm 2\%$ 。测量平均功率的额定时限一般为 15 min 及 30 min,也可为 5、10 min 或 1 h。推动指针从开始上升到回至零位的时限误差小于额定时限的 $\pm 1\%$ 。同步电动机的起动电压一般为额定电压值的 50%。

(程世镐)

zuiduan shijian kongzhi

最短时间控制 (minimum time control)

使系统以最短的时间从初始状态转移到预定的终端状态的控制,亦称最速控制或时间最优控制。

系统的状态方程为

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, t) + Bu(t) \\ x(t_0) = x_0, x(t_f) = x_f \end{cases} \quad (1)$$

式中 x 为 n 维状态向量; t_0 为初始时刻; t_f 为终端时刻。系统本身是非线性的(包括线性的),而 p 维控制

向量 $u(t)$ 是以线性方式出现的, 并受以下不等式约束

$$|u_j(t)| \leq M_j, \quad j=1, 2, \dots, p \quad (2)$$

这里 M_j 为给定向量 M 的第 j 个分量。

问题是寻找最优控制 $u^*(t)$ 使下列性能指标为最小

$$J = \int_{t_0}^{t_f} 1 \cdot dt = t_f - t_0 \quad (3)$$

应用极小值原理, 哈密顿函数为

$$H[x, u, \lambda, t] = 1 + \lambda^T f(x, t) + \lambda^T B u \quad (4)$$

若最优控制 $u^*(t)$ 存在, 则有

$$\dot{x} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = f(x, t) + B u \quad (5)$$

$$\text{和} \quad \dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\partial f}{\partial x} \lambda \quad (6)$$

由于两点边值已知

$$x(t_0) = x_0, \quad x(t_f) = x_f \quad (7)$$

并由

$$\begin{aligned} & \min H[x^*, u, \lambda^*, t] \\ &= \min_{u \in U} [1 + \lambda^{*T} f(x^*, t) + \lambda^{*T} B u] \\ &= 1 + \lambda^{*T} f(x^*, t) + \min_{u \in U} \lambda^{*T} B u \end{aligned} \quad (8)$$

可得, $u^*(t)$ 是由 $\min_{u \in U} \lambda^{*T} B u$ 决定的, 即

$$u^*(t) = -M \cdot \text{sgn}[B^T \lambda] \quad (9)$$

式中 U 为容许控制的集合; sgn 表示符号函数。这表明, 控制向量是在容许控制域的边界上取值。最小时间控制是“继电型”控制, 即“开关型”控制, 在英文文献中, 称为 bang-bang 控制, 译作“砰-砰”控制。它之所以能够快速响应, 是由于它能以最大容许控制加速、以最小容许控制制动。

(于 勃)

zuixiao ercheng guji

最小二乘估计 (least square estimation)

以残差的平方和最小为估计准则的数学估计方法。1795年由 C.F. 高斯 (C.F. Gauss) 首先提出。它是参数估计中较成熟的基本方法, 目前已获得广泛的应用。

线性差分方程模型的最小二乘估计 对一个单输入单输出的线性定常系统, 可以用 n 阶常系数线性差分方程来表示

$$y(k) + \sum_{i=1}^n a_i y(k-i) = \sum_{i=0}^n b_i u(k-i) \quad (1)$$

式中 k 为离散时间, 取整数; a_i, b_i 为常系数; n 为系统的阶次。

考虑到模型噪声和量测噪声 $e(k)$, 式 (1) 可改写为

$$\begin{aligned} y(k) = & - \sum_{i=1}^n a_i y(k-i) \\ & + \sum_{i=0}^n b_i u(k-i) + e(k) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{令} \quad x^T(k) = & [-y(k-1), \dots, \\ & -y(k-n), u(k), \dots, u(k-n)] \\ \theta^T = & [a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_n] \end{aligned}$$

将式 (2) 改写为

$$y(k) = x^T(k) \theta + e(k) \quad (3)$$

将观测次数为 N 的数据代入, 可以建立一组由 N 个方程构成的方程组, 并写成矩阵向量形式

$$Y = X \theta + e \quad (4)$$

式中

$$\begin{aligned} Y &= \begin{bmatrix} y(n+1) \\ y(n+2) \\ \vdots \\ y(n+N) \end{bmatrix}, \quad e = \begin{bmatrix} e(n+1) \\ e(n+2) \\ \vdots \\ e(n+N) \end{bmatrix} \\ X &= \begin{bmatrix} x^T(n+1) \\ x^T(n+2) \\ \vdots \\ x^T(n+N) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -y(n) & \cdots & -y(1) & u(n+1) & \cdots & u(1) \\ -y(n+1) & \cdots & -y(2) & u(n+2) & \cdots & u(2) \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots \\ -y(n+N-1) & \cdots & -y(N) & u(n+N) & \cdots & u(N) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

最小二乘估计, 就是求得参数 θ 的估计值 $\hat{\theta}$, 使下述性能指标 J 为最小

$$\begin{aligned} J &= \sum_{k=n+1}^{n+N} e^2(k) = e^T e \\ &= (Y - X \theta)^T (Y - X \theta) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{令} \quad \left. \frac{\partial J}{\partial \theta} \right|_{\theta=\hat{\theta}} = 0$$

求得

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (6)$$

这就是参数 θ 的最小二乘估计。对 $X^T X$ 为非奇异的输入信号, 参数的最小二乘估计有解。

加权最小二乘估计 如果对式 (5) 中, 每个估计残差 $e(k)$ 加不同的权, 令 W 为加权矩阵, W 限制为正定对称矩阵, 则可得加权最小二乘估计 $\hat{\theta}_w$ 的计算公式

$$\hat{\theta}_w = (X^T W X)^{-1} X^T W Y \quad (7)$$

参考书目

- 韩曾晋, 自适应控制系统, 北京: 机械工业出版社, 1983
吴广玉等, 系统辨识与自适应控制, 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987

(蒋静坪)

zuixiao fangcha guji

最小方差估计 (minimum variance estimation) 以估计误差的方差阵最小为估计准则的

数学估计方法。其前提是已知： n 维随机向量 X 和它的 q 维观测向量 Y 的联合概率密度 $f(x, y)$ 、 X 的条件概率密度 $g_1(x|y)$ 和 Y 的概率密度 $f_2(y)$ 。这种方法适用于随机向量为非正态分布的情况，且估计不必须是观测的线性函数。

当 y 为随机向量 Y 的某一给定值时， X 的条件概率密度为 $g_1(x|y)$ ，则联合概率密度为

$$f(x, y) = g_1(x|y)f_2(y) \quad (1)$$

估计误差的方差阵为

$$J = E[\tilde{X}\tilde{X}^T] = E\{[X - \hat{X}(Y)][X - \hat{X}(Y)]^T\} \quad (2)$$

使式 (2) 的 J 为最小，即得 X 的最小方差估计 $\hat{X}(y)$ 是 X 的条件数学期望

$$\hat{X}(y) = \int_{-\infty}^{\infty} x g_1(x|y) dx = E[X|Y] \quad (3)$$

一般可写成

$$\hat{X}(Y) = E[X|Y] \quad (4)$$

最小方差估计实际上就是 $Y=y$ 时 X 的条件均值，故最小方差估计又称为条件均值估计。

考虑到式 (4)，最小的估计误差的方差阵为

$$J = E\{\tilde{X}\tilde{X}^T\} = E\{[X - E(X|Y)][X - E(X|Y)]^T\} \quad (5)$$

最小方差估计的一个重要性质是估计的无偏性。这是因为 $E[\hat{X}(Y)] = E[E(X|Y)] = E[X]$ 。

参考书目

陈新海，最佳估计理论。北京：北京航空学院出版社，1987

吴广玉等，系统辨识与自适应控制。哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1987

(蒋静坪)

zuixiao xiangwei xitong

最小相位系统 (minimum phase system)

具有最小相位传递函数的线性定常系统。最小相位传递函数，是在右半 s 平面上没有开环极点和零点的传递函数。在右半 s 平面上有开环极点和 (或) 零点的传递函数称为非最小相位传递函数。具有非最小相位传递函数的系统则称为非最小相位系统。

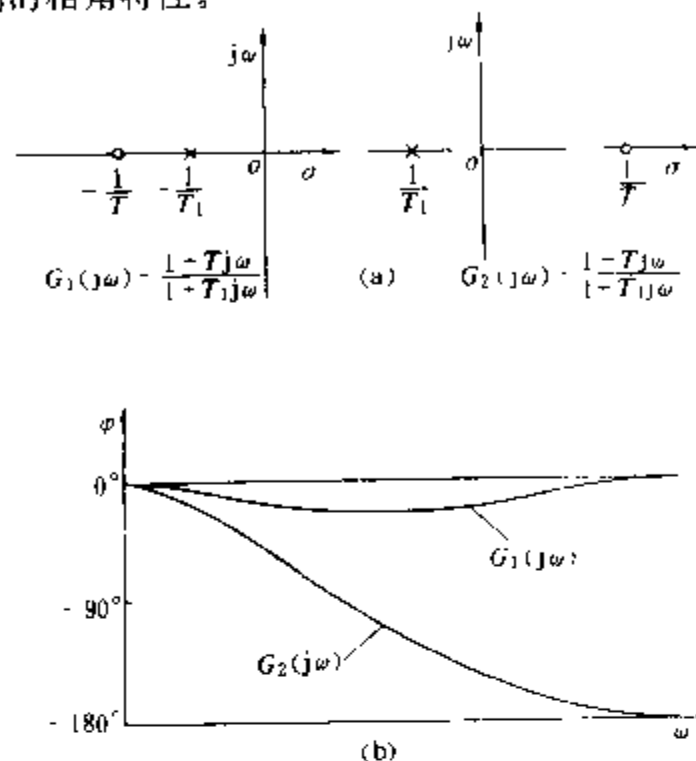
在具有相同幅值特性的诸系统当中，最小相位系统的相角变化范围是最小的。

设有两个系统的正弦传递函数分别为

$$G_1(j\omega) = \frac{1+j\omega T}{1+j\omega T_1}$$

$$G_2(j\omega) = \frac{1-j\omega T}{1+j\omega T_1} \quad (0 < T < T_1)$$

图 (a) 示这两个系统的极点、零点分布图；图 (b) 示它们的相角特性。



最小相位系统 $G_1(s)$ 和非最小相位系统 $G_2(s)$

的极点、零点分布图和相角特性

(a) 极点、零点分布；(b) 相角特性

非最小相位系统在高频段的相角滞后大，响应缓慢。在设计系统时，如果响应的快速性是主要的性能指标，就不应采用非最小相位系统。

(钱源平)

zuiyou kongzhi

最优控制 (optimal control) 按照控制对象的动态特性，选择一个容许控制，使控制对象按技术要求运行，并使性能指标达到最优 (极值) 的控制。

系统的数学模型为如下的状态方程

$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), t]; \quad t \in [t_0, t_f] \quad (1)$$

式中 $x(t)$ 为 n 维状态向量； $u(t)$ 为 p 维控制向量。

在整个控制时间区间 $[t_0, t_f]$ 内满足约束条件的控制称为容许控制；在整个时间区间 $[t_0, t_f]$ 内满足状态变量约束的状态轨迹称为容许轨迹。

最优控制问题是寻找一容许控制 u^* ，使系统 $x(t) = f[x(t), u(t), t]$ 沿一容许轨迹 x^* 运行，同时使性能指标

$$J = h[x(t_f), t_f] + \int_{t_0}^{t_f} g[x(t), u(t), t] dt \quad (2)$$

为极小。式中 h 和 g 为标量函数； t_0 和 t_f 分别为起始时刻和终端时刻。 t_f 可以是规定的或“自由的”，取决于问题的需要。

形如式 (2) 的性能指标，称为综合型或 Bolza 型的。只有第一项——终端性能指标，称为是终端型或

Mayer 型的。只有第二项——动态性能指标，称为是动态型或 Lagrange 型的。引进适当的辅助变量，以上三种类型的性能指标可以互相转换。性能指标又称目标函数、性能泛函、价值函数、代价函数，等等。

性能指标是一个泛函。泛函是这样一类函数，其自变量本身也是函数。在式 (2) 中，泛函 J 的值决定于时间 t 的函数 $x(t)$, $u(t)$ 的值。最优控制问题按性能指标可大致分为最短时间控制、线性二次型最优控制、线性二次型次优控制，等等。

最优控制问题的求解，先是应用变分法。但古典变分法有很大局限性，它适用于控制向量不受限制的情况，而实际工程问题中更多遇到的是，这些变量受限制。极小（大）值原理和动态规划的出现，为解决有约束的最优控制问题提供了有力的工具，从而大大推动了最优控制理论的发展。

最优控制在航天方面的应用很有成效。例如：①飞船的月球软着陆问题。飞船靠其发动机产生一推力，与月球重力方向相反，以控制飞船实现软着陆

（落到月球上时速度为零）。问题要求选择一最优发动机推力程序，使燃料消耗最少。②防天拦截问题。发射火箭拦截敌方洲际导弹或其它航空武器，要求实现快速拦截，并尽可能节省燃料。③空对空导弹拦截问题。要求在某末态时刻尽可能接近目标，并尽可能节省能量。在电力系统领域，最优控制也有不少有成效的应用。

参考书目

周凤岐等，现代控制理论引论，北京：国防工业出版社，1988

解学书，最优控制理论与应用，北京：清华大学出版社，1986

（于 渤）

zuoshou dingze

左手定则 (left - hand rule) 见磁感应强度。

条目汉字笔画索引

说 明

一、本索引供读者按条目标题的汉字笔画查检条目。

二、条目标题按第一字的笔画由少到多的顺序排列,笔画数相同的字按起笔笔形一(横)、丨(竖)、丿(撇)、丶(点)、㇇(折,包括乚等)的顺序排列。第一字相同的,依次按后面各字的笔画数和起笔笔形顺序排列。

三、用罗马数字、阿拉伯数字、拉丁字母、斯拉夫字母和希腊字母开头的条目标题依次排在汉字开头的条目标题的后面。

四、参见条(虚条)的页码采取虚实条兼注的方式,即参见条页码在括号外,被参见条页码在括号内。

二画

[一]

二分搜索法 126
二端口 125

[丿]

人工神经网络 275
人工智能 276

三画

[一]

三相电路功率 280
三相电源 281
三相负载 282
三倍频试验装置 280
工程工作站 151
工频试验变压器 152
大气校正因数 64
大系统建模 65
大系统理论 66
大型计算机 67
与、或、非、异或门 368
万用交流电桥 321(200)
万用表 320

[丨]

小型计算机 346

[丶]

门电路 252

四画

[一]

开关电容滤波器 228
开关稳压电路 229
开环系统 230(235)
开放系统互连 227
开路 230
元素半导体材料 369
无功功率 331
无功功率表 331
无功功率测量 332
无功电能表 330
无机固体绝缘材料 332
无源二端元件 332
无磁性钢铁材料 330
韦伯 327
云母 370
专家系统 390
支路电流法 380
不对称三相电路 26
巨型计算机 219
比较器 9
互易定理 169
互感器校验仪 169
瓦特 320
瓦特小时 320

[丨]

中央处理器 389
中断系统 388

[丿]

气体击穿理论 268
气体电介质的电导 268
气体绝缘材料 268
气体绝缘金属封闭电器
绝缘试验 269
长空气间隙击穿 34
化合物半导体材料 170
反铁磁性 130
反馈放大器 129
反馈控制 130(235)
介电色散与吸收 206
介质损耗 206
介质损耗角正切试验 207
分子极化率 138
分压器 137
分时系统 137(30)
分组交换公用数据网 138
分类算法 136
分流器 137(41)
分散控制 137
乏 128

[丶]

六氟化硫 249
文卷 327
计测电阻材料 185
计算机 185
计算机可靠性技术 192
计算机场地技术 187
计算机过程控制 190

计算机网络	194
计算机仿真	188
计算机系统安全与保密	195
计算机系统结构	195
计算机应用	195
计算机软件	192
计算机图形学	193
计算机病毒	187
计算机辅助设计	189
计算机辅助制造	189
计算机辅助测试	188
计算机硬件	196
计算机集成制造系统	191

[→]

引燃管	364
巴申定律	2
办公自动化	2
双极型半导体器件	304

五画

[-]

击穿试验	173
正弦电流	379
正弦波信号发生器 ... 378(273)	
正弦波振荡电路	379
功率因数	154
功率因数表	155
功率因数测量	155
功率表	152
功率放大电路	153
功率测量	153
功率晶体管	154
节点法	204
本征击穿	9
可观测性	231
可控性	232
可编程控制器	231
可编程逻辑阵列	231
左手定则	401(52)
石英晶体	285(210)
右手定则	368
布尔代数	27
平均功率	266
平均值	266
平滑	266(227)

[1]

卡尔曼滤波	227
电力电子器件	89
电工仪器仪表检定规程	84

电工材料	83
电子电路	108
电子束管	110
电子管	109
电子器件	109
电气绝缘性能	97
电化学击穿	85
电介质	85
电介质老化	87
电介质导电机理	86
电介质极化	86
电动势	80
电场强度	72
电压	105
电压表	106
电压源	106
电导	80(111)
电导率	80(112)
电抗	88
电位	102
电位移	103
电位器	103
电阻	111
电阻分压器	112(137)
电阻材料	111
电阻测量	111
电阻率	112
电阻器	113
电纳	95(88)
电表准确级别	71
电学和磁学量单位制	104
电荷	85
电晕放电	107
电离	88
电瓷	73
电流	90
电流表	91
电流源	92
电容	97
电容分压器	100(137)
电容、电阻滤波整流电路	99
电容测量	98
电容率	100
电容率与损耗因数试验	100
电容器	102
电能表	95
电能表校验台	96
电偶极矩	96
电感	80
电感测量	82
电感器	83

电路	92
电路元件	94
电触头材料	72
电源的等效变换	107
电磁场	76
电磁波	73
电磁测量	74
电磁屏蔽	79
电磁兼容	79
电磁感应	77
电磁辐射	77
只读存储器	380(4)
四象限模拟乘法器	305

[J]

代码	68
仪用电压互感器	359
仪用电流互感器	358
外围设备	320

[、]

主存储器	390
网络试验	282
半导体	3
半导体二极管	4
半导体三极管	6
半导体开关二极管	6
半导体存储器	4
半导体整流二极管	8
汇编程序	172
汉字国标码	165
汉字信息处理	166
汉字输入输出设备	165
永磁材料	364

[→]

尼科尔斯图	262
加法器	197
发光二极管	127
发热电阻材料	128
对称三相电路	121
对称分量法	119
对数放大器	122

六画

[-]

动态电路分析	115
动态电路复频域分析	115
动态系统辨识	117
动态规划	116

动态响应 118
 动态磁性测量 114
 扩散 240
 场效应半导体器件 35
 场效应晶体管放大电路 35
 共射放大电路 157
 共基放大电路 156
 共集放大电路 156
 机械式指示电表测量机构 ... 175
 机器人 174
 西门子 335
 西林电桥 335(200)
 压电材料 354
 压敏电阻器 354
 有效值 365
 有源滤波器 365
 存储系统 62
 毕奥—萨伐尔定律 11

[I]

光电二极管 160
 光电三极管 161
 光电半导体器件 160
 光电离 161(88)
 光线示波器 162
 光盘存储器 162
 同步计数器 317
 同步指示器 317
 回路法 171
 网状数据库 325
 网络软件 321
 网络图论 322
 网络流 321(322)

[J]

迁移率 270
 传递函数 46
 传递函数矩阵 47
 传输线 48
 传播常数 46(48)
 伏安 139
 伏秒特性 140
 伏特 140
 自发极化 396
 自动平衡式记录仪 395
 自动控制理论 394
 自持放电条件 394(310)
 自校正适应控制系统 396
 合成绝缘油 167
 负电性气体击穿 141
 负序电流表 142

负离子的形成 141
 多相电源 124
 多路分配器 123
 多路选择器 123

[、]

冲击大电流测量 41
 冲击电压发生器 42
 冲击电流发生器 41
 冲击电流标准波形 41(41)
 冲击高电压测量 44(144)
 冲击检流计 44(197)
 冲激响应 44
 交流 199
 交流电位差计 202
 交流电桥 200
 交流电流激增点试验 200
 交流高电压测量 ... 202(144)
 交流数字电压表 202
 决策支持系统 220
 充气管 44
 闭环系统 11(235)
 并行处理计算机系统 22
 并联 22
 关系数据库 158
 关联矩阵 158(322)
 汤森放电理论 310
 安培 1
 安培匝 1
 安培环路定律 1(52)

[→]

寻址方式 353(380)
 导电材料 69
 导体 70
 导纳 69(397)
 异步计数器 360
 阶跃响应 203
 阴极电子发射 362
 阴极射线示波管 362
 阴极射线示波器 363
 纤维材料 335

七画

[一]

麦克斯韦 251
 麦克斯韦方程组 251
 麦克斯韦—维恩
 电桥 251(200)
 运算器 370
 批处理系统 264(30)

抗磁性 230
 劳思—赫尔维茨稳定
 判据 242
 克拉索夫斯基方法 233
 极小值原理 179
 极限环 179(344)
 极点 179(46)
 极点配置 179
 李雅普诺夫方法 244
 连接装配程序 246

[I]

肖特基二极管 346
 时序逻辑 286
 时序逻辑电路 287
 时变电磁场 285
 时变系统 285
 时钟 RS 触发器 287
 串联 50
 串联谐振装置 50
 串联稳压电路 50

[J]

估计理论 157
 体积效应 311(358)
 伯德图 24
 低温液体电介质击穿 70
 位移电流 327

[、]

状态反馈 391
 状态观测器 391
 状态转移矩阵 393
 状态空间表达式 391
 状态空间法 393
 亨利 168
 库仑 238
 库仑定律 238
 应变电阻材料 364
 快速傅里叶变换 239
 译码器 361

[→]

层次数据库 33
 局部放电 217
 局部放电试验 217
 局域网络 218
 阻尼型分压器 397(137)
 阻抗 397
 阻抗匹配 397

阻燃材料 397

八画

[一]

环节 170
现代控制理论 335
表查找算法 20
表结构 22
表格法 21
规范型 163
拉普拉斯方程 242
坡印廷矢量 267
直流 382
直流双比电桥 386
直流电位差计 384
直流电流互感器 383
直流电能表 383
直流放大器 384
直流单比电桥 382
直流高电压发生器 385
直流高电压测量 385(144)
直接驱动式记录仪表 381
松驰现象 305
矿物绝缘油 239
奈奎斯特图 257
奈奎斯特稳定判据 258
奇点 268(344)
欧文电桥 263(200)
欧拉-拉格朗日方程 263
欧姆 263
欧姆定律 263
软件工程 278
软磁材料 278

[二]

非正弦周期电流电路 134
非正弦波信号发生器 133
非线性系统的线性化
 方法 133
非线性控制系统 133
非晶态半导体材料 132
非晶态磁性材料 132
固体电介质击穿 158
固体电介质的电导 157
罗柯夫斯基线圈 249(41)
图形输入输出设备 318
图结构 318

[三]

钎焊材料 270
金属导电机理 207

采样和信号再现 28
受控源 288

[、]

变分法 13
变换器式功率因
 数表 16(14)
变换器式功率表 15
变换器式电压表 15(14)
变换器式电表 14
变换器式频率表 16(14)
变容二极管 17
变量-梯度法 16
放大电路 130
闸流管 375
卷积 220
单片微型计算机 69
单结晶体管 68
法拉 128
泄漏电流试验 350
油中沿面放电 365
沿污染电介质表面放电 355
沿面放电 355
波形因数 24
空气 233
空气间隙击穿电压 233
实用程序 287
实时系统 287(30)
视在功率 287

[→]

降阶观测器 199
线电压 337(341)
线电流 337(341)
线性二次型次优控制 338
线性二次型最优控制 338
线性控制系统 340
线性最小方差估计 340
组合逻辑 397
组合逻辑电路 398
终端设备 389
驻极体 390
经典控制理论 209

九画

[一]

玻璃 24
指令系统 380
指令格式 380(380)
标准电池 17
标准电阻器 20

标准电容器 19
标准电能表 18
标准电感器 18
柯尔-柯尔圆图 230
相对稳定性 340
相平面法 344
相电压 341
相电流 341
相位 345(379)
相角测量 341
相序指示器 345
相量图 344
相量法 342
树结构 292
面积效应 252(358)
耐电弧试验 260
耐电晕试验 260
耐电痕试验 259
耐压试验 260
耐高温材料 260

[I]

星接阻抗和三角接阻抗
 的变换 352
响应 341
哈密顿-雅可比-贝尔曼
 方程 165

[J]

适应控制系统 288
科学计算 230
复功率 142
复电容率 142
复合 143
复合材料 143
复费率电能表 142
便携机 17
顺磁性 304
信号流程图 350
脉冲顺序分配器 251

[、]

差动放大器 33
总谐波畸变率 396
测量放大器 31
测量球隙 32
测温电阻材料 32

[→]

结构图 204

结型场效应晶体管 204
 绝缘子干闪络试验 ... 226(282)
 绝缘子污秽放电试验 226
 绝缘子湿闪络试验 ... 226(282)
 绝缘电阻率试验 221
 绝缘材料的长期耐热性 221
 绝缘诊断技术 224
 绝缘栅场效应功率晶体管 ... 224
 绝缘栅场效应晶体管 222

十画

[一]

振子 377(197)
 振动检流计 377(197)
 载流子 373
 载流子寿命 374
 热击穿 274
 热电离 273(88)
 热固性塑料 273
 热释电材料 274
 热塑性塑料 275
 真空击穿 376
 真空电子器件 375
 框图 239(204)
 根轨迹法 150
 砷化镓 284

[二]

峰值电压表 139
 圆图 369

[三]

铁电材料 315
 铁磁性 315
 铁磁谐振电路 314
 氧化钡 356
 特性阻抗 311(48)
 特勒根定理 311
 特斯拉 311
 积分器 176
 倍压整流电路 8
 射极耦合逻辑门 283

[、]

高分子绝缘材料 147
 高电压技术 144
 高电压测量 144
 高电压绝缘试验 146
 高压力下气体击穿 148
 高压电子示波器 148

高阻表 149
 高速缓冲存储器 147
 高阈值逻辑门 149
 高斯 147
 高斯通量定理 147(103)
 离散系统 243
 递阶控制 70
 递推最小二乘估计 71
 涡流 329
 涡流损耗 330
 海氏电桥 165(200)
 海拔校正系数 165
 流注放电理论 247
 诺顿定理 262(67)
 调节电阻材料 312
 调制与解调电路 314
 调制器 312
 调试程序 312

[→]

通信控制处理机 316
 通道 316
 能带理论 261
 预测 369(227)

十一画

[一]

理想变压器 245
 描述函数法 252
 控制作用 237
 控制系统 235
 控制系统设计与补偿 236
 控制系统稳定性 237
 控制器 234
 基本回路矩阵 177(322)
 基本割集矩阵 177(322)
 基本RS触发器 177
 基尔霍夫定律 178
 基波电流 178
 检流计 197
 硅稳压二极管 164
 硅稳压管稳压电路 164
 辅助存储器 140

[二]

虚拟存储器 352
 逻辑函数 249

[、]

铜 318

铝 250
 移位寄存器 359

[、]

减法器 199
 旋转磁场 353
 液体电介质小桥击穿 358
 液体电介质气泡击穿 357
 液体电介质击穿 357
 液体电介质电击穿 357
 液体电介质的电导 356
 液体绝缘材料 358
 情报检索 271
 谐波分析仪 348
 谐波功率 348
 谐波电流 347
 谐波电流表 347
 谐波报警器 347
 谐波流向仪 348
 谐振 349
 谐振电桥 350(200)

[→]

随机存储器 307(4)
 随机控制理论 307
 随机最优控制 307

十二画

[一]

替代定理 311
 趋肤效应 272
 超导电机理 36
 超导材料 35
 超前补偿 37
 联想存储器 246
 散列算法 282
 硫化镉 248
 暂态响应 374

[二]

最大需量表 398
 最小二乘估计 399
 最小方差估计 400
 最小相位系统 400
 最优控制 400
 最短时间控制 398
 晶体振荡器 210
 晶体管电压表 209
 晶闸管 211
 晶闸管保护电路 212

晶闸管触发电路 213

[J]

短路 119
剩磁 284
程序 38
程序设计 38
程序设计语言 39
集成电路 181
集成运算放大器 183
集成单稳态触发器 181
集成逻辑门电路 182
集成触发器 180
集成稳压块 182
焦耳 203
焦耳定律 203
奥斯特 1

[、]

滞后补偿 386
滞后-超前补偿 387
湿敏电阻材料 284

[ㄣ]

编译程序 12
编码器 12
编辑程序 11

十三画

[一]

禁带宽度 208
楞次定律 243(77)
碰撞电离 264(88)
雷电冲击电压标准
 波形 243(42)
零状态响应 247
零点 247(46)
零输入响应 247
输入设备 289
输入输出处理机 290
输入输出设备控制器 291
输入输出系统 292
输入输出控制系统 291
输出反馈 289
输出设备 289

[I]

频率 264(379)
频率表 265
频率响应法 266

频率测量 265
频谱 266(134)
畸变功率 178

[J]

微分器 326
微处理器 326
微波电子管 325
微型计算机 326
触发器转换电路 45
解调器 205
解释程序 205

[、]

数字万用表 302
数字功率表 300
数字电压表 300
数字电能表 299
数字电路 299
数字图像处理 301
数字采集系统 298
数字相位表 303
数字频率表 301
数字微欧表 303
数学规划 298
数学模型 298
数据 292
数据库系统 295
数据库系统保护 296
数据库语言 296
数据库管理系统 294
数据表示 293
数据保密技术 292
数据类型 297
数据结构 294
数模转换器 297
滤波 250(227)

[ㄣ]

叠加定理 113

十四画

[一]

静电电压表 215
静电场 215
静电感应 216
静态磁性测量 216
赫兹 168
模式识别 254
模拟乘法器 253

模型参考适应控制系统 256
模-数转换器 255
碳化硅 309
磁化率 55
磁矢位 59
磁记忆材料 56
磁记录材料 55
磁场 52
磁场强度 52
磁导 54(62)
磁导率 54
磁体 59
磁位差 60
磁补偿材料 51
磁阻 62
磁性材料 61
磁带存储器 53
磁标位 51
磁矩 56
磁屏蔽材料 58
磁致伸缩 61
磁致伸缩材料 61
磁通计 59
磁通势 60
磁通量 60
磁敏电阻材料 57
磁盘存储器 58
磁畴与畴壁 53
磁链 56(80)
磁滞回线 61
磁滞损耗 62
磁感应强度 54
磁路 56

[J]

稳压电路 329
稳态响应 329
稳态误差 328
算法 306
管理信息系统 159

[、]

熔体材料 277
熔敷粉末材料 277

[ㄣ]

隧道二极管 308

十五画

[一]

橡胶 346

[J]

黎卡提方程 244

十六画

[一]

操作冲击电压标准

波形 30(42)

操作系统 30

操作波感应耐压试验 29

薄膜电阻材料 8

整流电路 377

整流式电表 378(14)

霍耳器件 172

[J]

恒定电场 168

[、]

激励 179

激励 179

十七画

[一]

戴维南定理 67

[|]

瞬时值 304

十八画

[J]

翻译程序 128

50% 冲击放电电压 2

ASCII 码 1(68)

BASIC 语言 2(39)

BCD 码 2(68)

C 语言 28

CMOS 集成逻辑门 28

COBOL 语言 28(39)

D 触发器 64

EBCDIC 码 125(68)

FORTRAN 语言 127(39)

JK 触发器 173

LC 正弦波振荡器 241

NMOS 集成逻辑门 257

PASCAL 语言 264(39)

PMOS 集成逻辑门 264

RC 正弦波振荡器 273

T 触发器 309

TTL 与非门 309

x - y 记录仪 335

Z 变换法 372

Z 传递函数 373

条 目 外 文 索 引

(INDEX OF ARTICLES)



AC 199
 AC abruptly increasing
 point test 200
 accuracy class of elec-
 trical meters 71
 AC digital voltmeter ... 202
 AC testing equipment
 with triple power-
 frequency 280
 active filter 365
 adaptive control sys-
 tem 288
 adder 197
 addressing operation ... 353
 admittance 69
 ageing of dielectrics 87
 air 233
 algorithm 306
 alternating current 199
 alternating current
 bridges 200
 alternating current
 potentiometer 202
 altitude correction coef-
 ficient 165
 Aluminium 250
 ammeter 91
 ampere 1
 ampere - turn 1
 amplification circuit 130
 Ampère's circuital law ... 1
 analog multiplier 253
 analog-to-digital con-
 verter 255
 AND, OR, NOT, exclu-
 sive OR gates 368
 antiferromagnetism 130
 apparent power 287
 application of compu-
 ter 195

area effect 252
 arithmetic unit 370
 artificial intelligence 276
 artificial neural net-
 work 275
 ASCII code 1
 assembler 172
 associative memory 246
 asynchronous counter ... 360
 atmosphere correction
 factor 64
 automatic balancing
 type 395
 automatic control the-
 ory 394
 auxiliary storage 140
 average power 266
 average value 266
 AVO meter 320



ballistic galvanometer ... 44
 BASIC 2
 batch processing sys-
 tem 264
 BCD code 2
 binary search 126
 Biot - Savart law 11
 bipolar semiconductor
 device 304
 block diagram 239
 Bode diagram 24
 boolean algebra 27
 branch current method... 380
 brazing and soldering
 materials 270
 breakdown in cryogenic
 dielectric liquids 70
 breakdown in dielectric
 liquids 357
 breakdown in dielectric
 liquids caused by im-

purity bridge 358
 breakdown in electro-
 negative gases 141
 breakdown in solid di-
 electrics 158
 breakdown of long air
 gap 34
 breakdown test 173
 breakdown voltage of
 air gaps 233
 bubble breakdown in
 dielectric liquids 357



cache memory 147
 cadmium sulphide 248
 calculus of variations 13
 calibration equipment of
 kWhmeter 96
 canonical form 163
 capacitance 97
 capacitance measure-
 ment 98
 capacitor 102
 capacitor voltage
 dividers 100
 carrier 373
 cathode ray oscillo-
 scope 363
 cathoderay oscilloscope
 tube 362
 central processing unit... 389
 channel 316
 characteristic imped-
 ance 311
 Chinese character infor-
 mation processing 166
 Chinese character input
 and output device 165
 circle diagram 369
 C language 28
 classical control the-

ory 209
 clocked RS flip-flop 287
 closed-loop system 11
 CMOS integrated logic
 gate 28
 COBOL 28
 code 68
 cole - cole diagram 230
 collision ionization 264
 combinational logic 397
 combinational logic
 circuit 398
 common-base ampli-
 fier 156
 common-collector am-
 plifier 156
 common-emitter ampli-
 fier 157
 communication control
 processor 316
 comparator 9
 compiler 12
 complex frequency-domain
 analysis of dynamic
 circuits 115
 complex permittivity ... 142
 complex power 142
 composite materials 143
 compound semiconductor
 materials 170
 computer 185
 computer aided design ... 189
 computer aided manu-
 facturing 189
 computer aided test 188
 computer architecture ... 195
 computer graphics 193
 computer hardware 196
 computer integrated
 manufacturing
 system 191
 computer network 194
 computer process con-
 trol 190
 computer reliability
 technology 192
 computer simulation 188

computer software 192
 computer virus 187
 conductance 80
 conductive materials 69
 conductivity 80
 conductors 70
 control action 237
 controllability 232
 controlled sources 288
 control system 235
 control system stability... 237
 control unit 234
 conversion circuit for
 flip-flop 45
 convolution 220
 copper 318
 corona discharge 107
 corona resistance test ... 260
 coulomb 238
 Coulomb's law 238
 crystal oscillator 210
 current sources 92

D

damping voltage di-
 viders 397
 data 292
 data acquisition system... 298
 database language 296
 database management
 system 294
 database system 295
 database system pro-
 tection 296
 data representation 293
 data security 292
 data structure 294
 data type 297
 DBMS 294
 DC 382
 DC amplifier 384
 DC current trans-
 former 383
 DC kWhmeter 383
 DC potentiometer 384
 debugger 312
 decentralized control ... 137

decision support
 system 220
 decoder 361
 demodulator 205
 demultiplexer 123
 describing function
 method 252
 design and compensation
 of control system 236
 D flip-flop 64
 diamagnetism 230
 dielectric dispersion and
 absorption 206
 dielectric loss 206
 dielectric loss tangent
 test 207
 dielectrics 85
 differential amplifier 33
 differentiator 326
 diffusion 240
 digital circuits 299
 digital electricity meter... 299
 digital frequency meter... 301
 digital image proces-
 sing 301
 digital kWhmeter 299
 digital microohm
 meter 303
 digital multimeter 302
 digital phase meter 303
 digital to analog con-
 verter 297
 digital voltmeter 300
 digital wattmeter 300
 directacting type 381
 direct current 382
 discharge along a con-
 taminated dielectric
 surface 355
 discharge along dielectric
 surface 355
 discrete system 243
 displacement current ... 327
 distortion power 178
 distributor of sequent
 pulses 251
 DP 116

dry flashover test of insulators 226
DSS 220
dynamic circuit analysis 115
dynamic magnetic characteristics measurement 114
dynamic programming ... 116
dynamic response 118
dynamic system identification 117

E

EBCDIC code 125
eddy current 329
eddy current loss 330
editor 11
effective value 365
electret 390
electrical conduction in solid dielectrics 157
electrical breakdown in high-pressure gases ... 148
electrical breakdown in vacuum 376
electrical circuit elements 94
electrical conduction in gaseous dielectrics ... 268
electrical conduction in liquid dielectrics 356
electrical conduction mechanism of dielectrics 86
electrical engineering materials 83
electrical insulating properties 97
electric ceramic 73
electric charge 85
electric circuit 92
electric contact materials 72
electric current 90
electric dipole moment ... 96
electric displacement ... 103
electric field intensity ... 72
electric potential 102
electric power measurement 153
electro-magnetic compatibility 79
electrochemical breakdown 85
electromagnetic field 76
electromagnetic induction 77
electromagnetic measurements 74
electromagnetic radiation 77
electromagnetic shielding 79
electromagnetic wave 73
electromotive force 80
electron-beam tube ... 110
electron emission from cathode 362
electronic breakdown in dielectric liquids 357
electronic circuits 108
electronic devices 109
electronic tube 109
electrostatic field 215
electrostatic induction ... 216
electrostatic voltmeters ... 215
element 170
element semiconductor materials 369
emitter coupled logic gate 283
encoder 12
energy band theory 261
engineering workstation 151
equivalent transformation between sources 107
estimation theory 157
Euler-Lagrange equation 263
excitation 179
excitation 179
expert systems 390

F

farad 128
fast fourier transform ... 239
feedback amplifier 129
feedback control 130
ferroelectric materials ... 315
ferromagnetism 315
ferro-resonance circuit ... 314
fibre materials 335
FFT 239
field-effect semiconductor device 35
field-effect transistor amplifier 35
file 327
filtering 250
flame-resisting materials 397
flashover tests 282
flows in networks 321
fluxmeter 59
forecasting 369
formation of negative ions 141
FORTRAN 127
four-quadrant analog multiplier 305
frequency 264
frequency measurement 265
frequency meter 265
frequency response method 266
frequency spectrum 266
fundamental current 178
fundamental cut-set matrix 177
fundamental loop matrix 177

G

gallium arsenide 284
galvanometer 197
gaseous insulating materials 268
gasfilled tube 44

gate circuits 252
 gauss 147
 Gauss flux theorem 147
 generators of high direct
 voltage 385
 glass 24
 graph 318
 graphics input/output
 device 318

H

Hall element 172
 Hamilton-Jacobi-Bellman
 equation 165
 harmonic alarm 347
 harmonic analyzer 348
 harmonic current 347
 harmonic current
 meter 347
 harmonic power 348
 harmonic power flow
 direction meter 348
 hashing algorithms 282
 Hay bridge 165
 henry 168
 hertz 168
 hierarchical control 70
 hierarchical database 33
 high - voltage cathode-
 ray oscillograph 148
 high - voltage measure-
 ments 144
 high-temperature endur-
 able materials 260
 high threshold logic
 gate 149
 high voltage insulation
 tests 146
 high voltage technique... 144
 humidity sensitive re-
 sistance materials 284

I

ideal transformer 245
 ignitron 364
 impedance 397
 impedance matching 397

impulse current gener-
 ators 41
 impulse response 44
 impulse voltage gener-
 ators 42
 incidence matrix 158
 inductance 80
 inductance measure-
 ment 82
 inductive withstanding
 test with switching
 impulse 29
 inductor 83
 information retrieval ... 271
 inorganic solid insulating
 materials 332
 input device 289
 input output control
 system 291
 input output device
 control unit 291
 input output processor ... 290
 input output system 292
 instantaneous value 304
 instruction format 380
 instruction sets 380
 instrumentation ampli-
 fier 31
 instrument current
 transformer 358
 instrument potential
 transformer 359
 instrument transformer
 calibrator 169
 insulatedgate fieleffect
 power transistor 224
 insulatedgate fieleffect
 transistor 222
 insulation diagnosis 224
 insulation test for gas in-
 sulated metal-enclosed
 switchgear 269
 integnated flip-flop 180
 integrated circuit 181
 integrated logic gate
 circuits 182
 integrated monostable

 multivibrator 181
 integrated operational
 amplifier 183
 integrated voltage sta-
 bilizer 182
 integrator 176
 intelligent robot 174
 interpreter 205
 interrupt system 388
 intrinsic breakdown 9
 ionization 88

J

JK flip-flop 173
 joule 203
 Joule's law 203
 junction field effect
 transistor 204

K

Kalman filtering 227
 Kelvin bridge 386
 Kirchhoff's laws 178
 Krasovskii method 233
 kWhmeter 95

L

lag compensation 386
 lag-lead compensation ... 387
 LAN 218
 Laplace's equation 242
 large - scale system
 theory 66
 large computer 67
 large-scale system
 modeling 65
 LC sine-wave oscillator... 241
 lead compensation 37
 leakage current test 350
 least square estimation... 399
 LED 127
 left-hand rule 401
 Lenz law 243
 life time of carriers 374
 light beam oscilloscope... 162
 light emitting diode 127
 limit cycle 179

linear control system ... 340
 linearization method of
 nonlinear systems 133
 linear minimum variance
 estimation 340
 linear quadratic optimal
 control 338
 linear quadratic sub-
 optimal control 338
 line currents 337
 line voltages 337
 linking loader 246
 liquid insulating ma-
 terials 358
 lists 22
 local area network 218
 logarithmic amplifier ... 122
 logic function 249
 long-term thermal en-
 durance of electrical
 insulating materials ... 221
 loop analysis 171
 Lyapunov method 244

M

magnetic - memory ma-
 terials 56
 magnetic - record ma-
 terials 55
 magnetically hard ma-
 terials 364
 magnetically soft ma-
 terials 278
 magnetic circuit 56
 magnetic compensation
 materials 51
 magnetic conductance ... 54
 magnetic difference of
 potential 60
 magnetic disk storage ... 58
 magnetic domain and
 domain wall 53
 magnetic field 52
 magnetic flux 60
 magnetic hysteresis
 loop 61
 magnetic hysteresis

loss 62
 magnetic induction 54
 magnetic intensity 52
 magnetic linkage 56
 magnetic materials 61
 magnetic moment 56
 magnetic scalar poten-
 tial 51
 magnetic shielding ma-
 terials 58
 magnetic susceptibility ... 55
 magnetic tape storage ... 53
 magnetic vector po-
 tential 59
 magnetomotive force 60
 magneto sensitive resist-
 ance materials 57
 magnetostriction 61
 magnetostriction ma-
 terials 61
 magnets 59
 main memory 390
 management information
 system 159
 materials for film resist-
 ance 8
 materials for regulation
 resistance 312
 materials of fuse el-
 ements 277
 mathematical model 298
 mathematical program-
 ming 298
 maximum demand
 meter 398
 maxwell 251
 Maxwell's equations ... 251
 Maxwell-Wien bridge ... 251
 measurement of high -
 current impulse 41
 measurement of high al-
 ternating voltages 202
 measurement of high
 impulse voltages 44
 measuring mechanisms of
 electromechanical type
 indicating meters 175

measurement of high
 direct voltages 385
 mechanism of metal con-
 duction 207
 mechanism of supercon-
 ductivity 36
 megger 149
 method of symmetrical
 components 119
 mica 370
 microcomputer 326
 microprocessor 326
 microwave tube 325
 mineral insulating oil ... 239
 minicomputer 346
 minimum phase sys-
 tem 400
 minimum principle 179
 minimum variance esti-
 mation 400
 minimum time control ... 398
 MIS 159
 mobility 270
 model reference adaptive
 control system 256
 modern control theory ... 336
 modulation and demodu-
 lation circuit 314
 modulator 312
 molecular polarizability... 138
 multimeter 320
 multiplexer 123
 multi rate kWhmeter ... 142

N

national standard code
 for Chinese character
 information inter-
 change 165
 negative sequence cur-
 rent meter 142
 network database 325
 network graph theory ... 322
 network software 321
 Nichols diagram 262
 NMOS integrated logic
 gate 257

node analysis 204
 non - crystal magnetic
 materials 132
 noncrystalline semicon-
 ductor materials 132
 nonlinear control sys-
 tem 133
 non-magnetic steel 330
 nonsinusoidal signal
 generator 133
 nonsinusoidal periodic
 current circuits 134
 Norton theorem 262
 Nyquist diagram 257
 Nyquist stability crite-
 rion 258



observability 231
 oersted 1
 office automation 2
 ohm 263
 ohm law 263
 open circuit 230
 open-loop system 230
 open system intercon-
 nection 227
 operating system 30
 optical disk storage 162
 optimal control 400
 OS 30
 output device 289
 output feedback 289
 Owen bridge 263



packet switched public
 data network 138
 parallel connection 22
 parallel processing com-
 puter system 22
 paramagnetism 304
 partial discharge 217
 partial discharge test ... 217
 PASCAL 264
 Paschen law 2
 passive two-terminal

 elements 332
 pattern recognition 254
 peak voltmeters 139
 peripheral equipment ... 320
 permanent magnetic
 materials 364
 permeability 54
 permittivity 100
 phase 345
 phase angle measure-
 ment 341
 phase currents 341
 phase plane method 344
 phase sequence indica-
 tor 345
 phase voltages 341
 phasor diagram 344
 phasor method 342
 photodiode 160
 photoionization 161
 photo semiconductor
 device 160
 phototransistor 161
 piezoelectric materials ... 354
 PMOS integrated logic
 gate 264
 polarization of dielec-
 trics 86
 pole 179
 pole assignment 179
 pollution discharge test
 of insulators 226
 polymer insulating ma-
 terials 147
 polyphase sources 124
 portable computer 17
 potentiometer 103
 powder for coating 277
 power amplifier 153
 power electronics de-
 vices 89
 power factor 154
 power factor measure-
 ment 155
 power factor meter 155
 power frequency testing
 transformer 152

power of three-phase
 circuit 280
 power transistor 154
 Poynting vector 267
 program 38
 programmable logic
 array 231
 programmable logic
 controller 231
 programming 38
 programming language ... 39
 propagation constant 46
 protective circuit for
 thyristor 212
 pyroelectric materials ... 274

Q

quartz crystal 285

R

RAM 307
 random access mem-
 ory 307
 RC sine-wave oscil-
 lator 273
 reactance 88
 reactive energymeter ... 330
 reactive power 331
 reactive power measure-
 ment 332
 read only memory 380
 real-time system 287
 reciprocity theorem 169
 recombination 143
 recording instrument ... 381
 recording instrument ... 395
 rectifier circuit 377
 rectifier circuit with RC
 filter 99
 rectifier meter 378
 recursive least squares
 estimation 71
 reduced-order ob-
 server 199
 relational database 158
 relative stability 340
 relaxation phenome-

non 305
 reluctance 62
 remanent magnetism ... 284
 resistance 111
 resistance measure-
 ment 111
 resistive materials 111
 resistive materials for
 heater 128
 resistive materials for
 measurement 185
 resistive materials for
 measuring tempera-
 ture 32
 resistivity 112
 resistor 113
 resistor voltage div-
 iders 112
 resonance 349
 resonant bridge 350
 response 341
 Riccati equation 244
 right - hand rule 368
 Rogowski coil 249
 ROM 380
 root locus method 150
 rotating magnetic field ... 353
 rotating standard 18
 Routh-Hurwitz stability
 criterion 242
 rubber 346

S

sampling and signal
 reproduction 28
 Schering bridge 335
 Schottky diode 346
 scientific computation ... 230
 security and secrecy of
 computer system 195
 self-sustained discharge
 criterion 394
 self tuning adaptive con-
 trol system 396
 semiconductor diode 4
 semiconductor voltme-
 ter 209

semiconductor 3
 semiconductor memory ... 4
 semiconductor rectifier
 diode 8
 semiconductor switching
 diode 6
 semiconductor triode 6
 sequential logic 286
 sequential logic circuit ... 287
 series connection 50
 series resonant equip-
 ment 50
 series voltage stabilizing
 circuit 50
 set-reset latch 177
 shift register 359
 short circuit 119
 shunt 137
 siemens 335
 signal flow diagram 350
 silicon carbide 309
 silicon voltage stabilizing
 diode 164
 sine-wave generator 378
 sine-wave oscillator cir-
 cuit 379
 single chip micro-
 computer 69
 singular point 268
 sinusoidal current 379
 skin-effect 272
 smoothing 266
 software engineering ... 278
 sorting algorithms 136
 sphere-gap for measure-
 ment 32
 spontaneous polariza-
 tion 396
 standard capacitor 19
 standard cell 17
 standard impulse current
 wave form 41
 standard inductor 18
 standard kWhmeter 18
 standard lightning im-
 pulse voltage wave
 form 243

standard resistor 20
 standard switching im-
 pulse voltage wave
 form 30
 state feedback 391
 state observer 391
 state-space method 393
 state-space represen-
 tation 391
 state transition matrix ... 393
 static magnetic charac-
 teristics measure-
 ment 216
 steady electric field 168
 steady state error 328
 steady state response ... 329
 step response 203
 stochastic control the-
 ory 307
 stochastic optimal con-
 trol 307
 storage system 62
 strain sensitive resist-
 ance materials 364
 streamer theory of gas
 discharge 247
 structural diagram 204
 substitution theorem ... 311
 subtractor 199
 sulphur hexafluoride ... 249
 super computer 219
 superconductive mate-
 rial 35
 superposition theorem ... 113
 surface discharge in
 dielectric oil 365
 susceptance 95
 switched-capacitor fil-
 ter 228
 switching voltage stabi-
 lizing circuit 229
 symmetrical three-phase
 circuit 121
 synchronous counter ... 317
 synchroscope 317
 synthetic insulating
 oil 167

tableau analysis 21
 table lookup algorithms 20
 technology of computer room 187
 Tellegen theorem 311
 terminal 389
 tesla 311
 test for arc resistance ... 260
 test for insulation resistivity 221
 test for permittivity and dissipation factor 100
 T flip-flop 309
 theory of electric breakdown of gases 268
 thermal breakdown 274
 thermal ionization 273
 thermoplastics 275
 thermosetting plastic ... 273
 Thevenin theorem 67
 Thomson bridge 386
 three-phase loads 282
 three-phase sources 281
 thyatron 375
 thyristor 211
 time dependent electromagnetic field 285
 time-sharing system 137
 time-varying electromagnetic field 285
 time-varying system 285
 total harmonic distortion 396
 Townsend theory 310
 track resistance test 259
 transducer type frequency meter 16
 transducer type meters ... 14
 transducer type power factor meter 16
 transducer type voltmeter 15
 transducer type wattmeter 15

transfer function 46
 transfer function matrix 47
 transformation between star-connected and delta-connected impedances 352
 transient response 374
 transistor 6
 translator 128
 transmission lines 48
 tree 292
 trigger circuit for thyristor 213
 TTL NAND gate 309
 tunnel diode 308

U

unijunction transistor ... 68
 unit systems of electric and magnetic quantities 104
 universal A C bridge ... 321
 unsymmetrical three-phase circuit 26
 utility program 287

V

vacuum electronic device 375
 var 128
 varactor 17
 var-hour meter 330
 variable - gradient method 16
 variable capacitance diode 17
 varistor 354
 varmeter 331
 verification regulation of electrical instruments 84
 vibration galvanometer 377
 vibrator 377
 virtual storage 352

volt 140
 volt - time characteristics 140
 voltage 105
 voltage dividers 137
 voltage-multiplier rectifier 8
 voltage sources 106
 voltage stabilizing circuit 329
 voltage withstand tests 260
 volt ampere 139
 voltmeter 106
 volume effect 311

W

watt 320
 watt-hour 320
 watt-hour meter 95
 wattmeter 152
 wave factor 24
 weber 327
 wet flashover test of insulators 226
 Wheatstone bridge 382
 width of forbidden band 208

X

x - y recorder 335

Z

zener voltage stabilizing circuit 164
 zero 247
 zero input response 247
 zero state response 247
 zinc oxide 356
 Z transfer function 373
 Z transform method 372
 2 - port 125
 50% impulse breakdown voltage 2

内 容 索 引

说 明

一、本索引是全卷条目和条目内容的主题分析索引。索引主题按汉语拼音字母的顺序并辅以汉字笔画、起笔笔形顺序排列。同音时，按汉字笔画由少到多的顺序排列，笔画数相同的按起笔笔形一（横）、丨（竖）、丿（撇）、丶（点）、㇇（折，包括乚、乚、乚等）的顺序排列。第一字相同时，按第二字，余类推。罗马数字、阿拉伯数字、拉丁字母、斯拉夫字母和希腊字母开头的主题，依次排在汉字索引主题的后面。

二、设有条目的主题用黑体字，未设条目的主题用仿宋体字。 a d

三、索引中人名一般附有人物的生卒年或活动年代，外国人名还附有原文姓和名（或名的缩写字母）。 b e

四、索引主题之后的阿拉伯数字是主题内容所在的页码，数字之后的小写拉丁字母表示索引内容所在的版面区域。本书正文的版面区域划分如右图。 c f

阿姆德尔, G. M. (G. M. Amdahl) 195e	巴申曲线 2d	本征击穿 9d
爱迪生, T. A. (T. A. Edison) 109c	白云母 369d	本征离子电导 86d
安德森, P. (P. Anderson) 37c	办公自动化 2f	北差 359a, 359e
安培 1a	半导体 3c	北较分类 136f
安培环路定律 1d, 52e	半导体存储器 4a	比较器 9f
安培匝 1d	半导体二极管 4d	北例环节 170e
按内容访问存储器 246d	半导体开关二极管 6c	北例—积分控制 238a
暗电流 161a	半导体三极管 6d	北例—积分—微分控制 238d
昂尼斯, H. K. (H. K. Onnes) 36a, 36f	半导体整流二极管 8c	北例控制 237f
奥斯特 1d	薄膜电阻材料 8c	北例—微分控制 238c
	饱和漏极电流 223d	毕奥, J. B. (Jean Baptiste Biot) 11b
	报文交换 194c	毕奥-萨伐尔定律 11b
	贝德诺尔兹, J. G. (J. G. Bednorz) 36b	闭环控制系统 236c
	贝尔曼, R. E. (R. E. Bellman) 116f, 336c	闭环系统 11e
巴丁, J. (J. Bardeen) 37a, 108a, 109f	贝塔朗菲, L. von (L. von Bertalanffy) 395c	边界元法 242e
巴科斯, J. (J. Backus) 39d	贝叶斯估计 157d	边沿触发型触发器 180f
巴克豪森判据 379c	倍压整流电路 8f	编辑程序 11e
巴申定律 2c	被控制量 236a	编码汉字输入键盘 166a
巴申, F. (F. Paschen) 2d	本构方程 251d	编码器 12b
	本征半导体 3e	编译程序 12e
		变分法 13c
		变换器式电表 14b

变换器式电压表	15e, 14d	不对称三相电源	282b	城域网	194d
变换器式功率表	15f	不对称三相负载	282c	乘商寄存器	371d
变换器式功率因数表 ...	16c, 14e	不接触回路	351a	程序	38e
变换器式频率表	16c, 15b	不锈钢	330c	程序包	38f
变跨导式模拟乘法器	254a	布尔代数	27a	程序规范说明	38e
变量-梯度法	16c	布尔, G. (G. Boole)	27d	程序设计	38f
变频谐振试验装置	270a	布拉顿, W. H. (W. H. Brattain)	108a, 109f	程序设计方法学	39a
变容二极管	17b	部分电容	98d	程序设计语言	39f
变像管	111a	采样和信号再现	28f	程序体	38e
变压器电动势	78d	采样信号	244a	弛豫时间	306a
变压器电桥	100b	参数估计	157c	迟滞型比较器	10e
变压器耦合式振荡器	241f	操作波	29d	冲击大电流测量	41a
变址寻址	381c	操作波感应耐压试验	29d	冲击电流标准波形	41f, 42a
便携机	17d	操作冲击电压标准		冲击电流发生器	41f
标称阻值	113c	波形	30a, 42f	冲击电压发生器	42e
标准电池	17e	操作过电压	146a	冲击高电压测量	44a, 144c
标准电感器	18b	操作系统	30b	冲击检流计	44a, 198e
标准电能表	18f	操作指导控制	190f	冲击耐压试验	261b
标准电容器	19d	测量放大器	31d	冲激响应	44a
标准电阻器	20a	测量球隙	32c	充气管	44d
表查找算法	20d	测量误差	75e	初始磁化曲线	53e
表格法	21a	测量仪表	75b	初相位	380a
表观功率	287f	测温电阻材料	32f	触发管	45a
表结构	22a	层次数据库	33c	触发器转换电路	45d
表示层	228c	差动放大器	33e, 33e	触头材料	72e
并发程序设计	39b	差值法	75b	传标常数	46a, 49b
并发程序语言	40c	长空气间隙击穿	34d	传导电流	91a
并联	22d	长螺线管的自感	81c	传递函数	46b
并联型晶体振荡器	211a	长石质瓷	73c	传递函数矩阵	47c
并行处理计算机系统	22e	常磁性	304c	传输媒体及附件	218e
并行运算器	371a	场效应半导体器件	35a	传检线	48b
波波夫, B. M. (B. M. Попов)	256f	场效应晶体管放大电路	35c	串-并行运算器	371a
波形因数	24b	场致发射	362d	串联	50a
玻璃	24c	超长指令字计算机	23d	串联稳压电路	50b
玻璃纤维	24e	超导材料	35f	串联谐振	349c
伯德, H. W. (H. W. Bode)	209d	超导电机理	36d	串联谐振装置	50f
伯德图	24f	超导体	36e	串联型晶体振荡器	211b
泊松方程	59c, 242e	超级微型机	327b	串式打印机	289b
泊松, S. (S. Poisson)	242f	超前补偿	37e	串行控制	235d
补码表示	294c	超调量	118d	串行运算器	371a
不对称三相电路	26a			纯滞后环节	171d

- 磁补偿材料 51f
 磁场 52a
 磁场能量密度 52d
 磁场强度 52d
 磁畴 315e
 磁畴与畴壁 53d
 磁带 53f
 磁带存储器 53f
 磁带驱动器 54a
 磁导 54c, 62f
 磁导率 54c
 磁电位计 41c
 磁电系测量机构 175d
 磁电系流比计 149e
 磁电阻率效应 57f
 磁电阻效应 57f
 磁动势 60d
 磁感应强度 54f
 磁感应线 54a
 磁化率 55c
 磁记录材料 55e
 磁记忆材料 56b
 磁矩 56d
 磁卡输入设备 289f
 磁力线 53b
 磁链 56f, 80f
 磁路 56f
 磁路的基尔霍夫第一
 定律 57c
 磁路中的欧姆定律 62e
 磁敏电阻材料 57f
 磁盘存储器 58c
 磁屏 79a
 磁屏蔽材料 58f
 磁矢势 59b
 磁矢位 59b
 磁体 59d
 磁通 60b
 磁通计 59f
 磁通盘 60b
 磁通量的连续性 60d
 磁通密度 54f
 磁通(量)密度 60c
 磁通势 60d
 磁位差 60f
 磁性材料 61a
 磁性瓷 130e
 磁致电阻效应 52b
 磁致伸缩 61a
 磁致伸缩材料 61c
 磁致伸缩应变恒量 61b
 磁致伸缩应力恒量 61b
 磁滞 61f
 磁滞回线 61e
 磁滞损耗 62c
 磁滞现象 315f
 磁阻 62d
 次谐波 315b
 存储管 111a
 存储描述语言 297a
 存储器管理 30d
 存贮系统 62f
 大气过电压 145f
 大气校正因致 64f
 大系统建模 65c
 大系统理论 66b
 大型计算机 67d
 代码 68b
 代数元件 95b
 带通滤波器 365f
 带阻滤波器 365f
 戴维南等效电路 67f
 戴维南定理 67e
 戴维南, L. C. (L. C.
 Thevenin) 67e
 单层神经网络 276a
 单地址指令 380f
 单极型半导体器件 35a
 单结晶体管 68c
 单片集成电路 181e
 单片推型计算机 69b
 单位冲激函数 44b
 单位阶跃函数 203d
 单相半波整流电路 377b
 单相电路 94d
 单相负载 282d
 单相桥式整流电路 377e
 单相全波整流电路 377d
 单指令流多数据流 23a
 氮化硅瓷 73e
 氮化硼瓷 73e
 导出单位 104d
 导带 261f
 导电材料 69c
 导电塑料电位器 103e
 导电性能试验 146e
 导纳 69f, 343c
 导纳角 343c
 导纳模 343c
 导纳三角形 343c
 导体 70a
 倒相加法器 197d
 德福雷斯特, L. (L. De
 Forest) 108a,
 109d, 109f
 德拉路, W. (W. de la Rue) 2d
 等磁标位面 51e
 等幅振荡 379c
 等离子显示器 166d
 等倾线 344c
 等位面 102a
 等效电源 107c
 邓莫尔, F. W. (F. W.
 Dunmore) 284e
 低通滤波器 365f
 低温液体电介质击穿 70c
 狄拉克函数 44b
 地址寄存器 390a
 地址译码器 390a
 递归表 22b
 递阶控制 70f
 递推最小二乘估计 71b
 点电荷 72b
 电报方程 48f
 电表准确级别 71f
 电擦除可编程只读存储器 4c
 电场能量密度 215d

电场强度	72a	电介质老化	87b	电容三点式振荡器	241c
电场强度通量	72c	电抗	88a, 343b	电通量密度	72c, 104c
电畴	316a	电老化	87d	电位	102f
电触头材料	72e	电离	88a	电位器	103c
电瓷	73b	电离电位	88b	电位移	103e
电磁波	73f	电离能	88b	电学和磁学量单位制	104c
电磁测量	74e	电力电子器件	89d	电压	105c
电磁场	76c	电力电子学	89d	电压表	106a
电磁场的动量	285d	电力系统过电压	145f	电压放大倍数	131c
电磁场的辐射力	285d	电力系统谐波	136a	电压互感器	359c
电磁场的能量	285c	电力线	72c, 102b	电压谐振	349c
电磁辐射	77c	电流	90f	电压源	106d
电磁感应	77f	电流表	91d	电压增益	131c
电磁兼容	79a	电流放大倍数	131c	电泳电导	356b
电磁能流的面密度	267b	电流互感器	358d	电源	92e
电磁屏蔽	79e	电流连续性原理	91b	电源的等效变换	107b
电磁系测量机构	175e	电流密度	91b, 168e	电源的内阻	92d
电磁系同步指示器	317e	电流强度	90f	电晕放电	107c
电导	111b, 80d, 343c	电流流	92b	电晕起始场强	107d
电导率	80d, 112f	电流增益	131c	电晕起始电压	107d
电动势	80d	电路	92e	电滞现象	316a
电动系测量机构	175e	电路分析	93c	电子崩	310c
电动系单相功率因数表	155c	电路交换	194b	电子电路	108a
电动系流比计	155c	电路元件	94d	电子电压表	209f
电度表	95c	电路综合	93c	电子管	109b
电感	80f	电纳	95c, 343c	电子极化率	138e
电感测量	82d	电脑	185e	电子器件	109e
电感器	83c, 80f, 333e	电能表	95c	电子枪	362f
电感三点式振荡器	241b	电能表校验台	96b	电子亲合势	141f
电工材料	83c	电偶极矩	96f	电子束管	110e
电工仪器仪表检定规程	84e	电平触发型触发器	180f	电子束器件	375f
电荷	85b	电平异步时序电路	286e	电子位移极化	86f
电荷密度	85c	电气绝缘性能	97b	电子有效碰撞电离系数	141c
电荷面密度	85c	电容	97d	电阻	111b, 343b
电荷守恒定律	85c, 91b	电容测量	98f	电阻材料	111d
电荷体密度	85c	电容、电阻滤波整流电路	99b	电阻测量	111f
电荷转移	85b	电容分压器	100c, 138a	电阻的串并联	111c
电化学击穿	85d	电容率	100e	电阻电路	94a
电介质	85e, 83c	电容率与损耗因数试验	100f	电阻分压器	112e, 137e
电介质导电机理	86b	电容器	102c, 97e, 333b	电阻率	112c
电介质的击穿	97c	电容器的能量	98d	电阻率的温度系数	207d
电介质击穿理论	145c	电容三点式改进型		电阻器	113b, 111b, 332d
电介质极化	86c	振荡器	241e	电阻温度系数	113d

叠加定理 113e
 定标器 319a
 定点表示 293f
 定流变阻式电位差计 384b
 定位管 110f
 定值器 319a
 定阻变流式电位差计 384d
 动态表 22b
 动态触发器 180e
动态磁性测量 114c
 动态电路 94b, 115a
动态电路分析 115a
动态电路复频域分析 115e
 动态电阻 111c
动态规划 116f
 动态模型 298c
 动态随机存储器 4b
动态系统辨识 117e
动态响应 118b
 动态元件 95b, 115a
 动态自感 81b
 端口 125a
 端口电流 125b
 端口电压 125b
短路 119e
 短路电流 119e
 段式存储管理 352e
 段页式存储管理 352
 堆栈 389d
 队列 22c
对称分量法 119e
对称三相电路 121c
 对称三相电源 282b
 对称三相负载 282c
 对等方式 322b
 对偶 249f
 对数反对数式模拟
 乘法器 253f
对数放大器 122b
 对数幅值-相位图 262a
 对数坐标图 24f
 多倍压整流电路 9a
 多变量频域方法 337a

多层次结构的表 22b
 多层神经网络 276a
 多层索引文卷 328b
 多处理机系统 23e
 多端稳压块 183e
 多费率电能表 142d
多路分配器 123b, 123c
 多路调制器 123d
多路选择器 123d
 多数载流子 373a
多相电源 124a
 多用表 320e
 多指令流多数据流 23a
 多子 4f, 373a

二倍压整流电路 9a
 二叉树 292d
 二地址指令 380f
二端口 125a
二分搜索法 126e
 二阶环节 171b
 二进位制 293e
 二-十进制代码 68d
 二线传输线的自感 81d

发电机电动势 78d
发光二极管 127a
发热电阻材料 128b
 发射结 7a
乏 128d
法拉 128d
 法拉第, M. (Michael Faraday) 76e, 78a, 85e, 251c, 327d

翻译程序 128e
 繁同表 320e
 反对数放大器 123a
 反抗力矩 175d
 反馈 236b
反馈放大器 129b
反馈控制 130c, 236b
 反馈控制系统 236b

反码表示 294c
 反射系数 49e
反铁磁性 130c
 反向阻断三极晶闸管 211c
 反相加法器 197d
 泛函 401a
 泛函变分 13d
 方均根值 365d
 方块图 239f
 方框图 239f
 仿真语言 188b
放大电路 130f
 放电重复率 217c
 放电功率 217d
 非本征半导体 3e
 非互易二端口 125d
 非击打式印字机 166e, 289b
 非极性电介质 86a
 非经典信息模式 137a
非晶态半导体材料 132b
非晶态磁性材料 132e
 非均匀磁场 52c
 非均匀电场 215b
 非空树 292c
 非门 368e
 非平衡载流子 373b
 非奇异摄动法 66a
 非容错设计 192b
 非时变电阻电路 94b
 非时变二端口 125c
 非时变元件 95a
 非线性电介质 104a
 非线性电容 98e
 非线性电容的动态电容 98e
 非线性电阻 111c
 非线性电阻电路 94b
 非线性动态电路 94c
 非线性二端口 125d
 非线性反馈 337a
 非线性非时变电感器 334a
 非线性非时变电容器 333d
 非线性非时变电阻器 332f
非线性控制系统 133a

非线性失真 131f
 非线性失真系数 131f
 非线性时变电阻器 333b
非线性系统的线性化
 方法 133d
 非线性元件 95a
非正弦波信号发生器 133f
 非正弦周期波形的相位
 频率特性 135f
非正弦周期电路 134d
 分布参数电路 93f
 分布存储器系统 23f
 分布电路 93f
 分布队列双总线网 194d
 分布式操作系统(DOS) 31d
 分布式程序设计 39c
 分布式程序语言 40c
 分布式处理 322c
 分岔理论 337b
 分级控制 191a
分类算法 136e
 分裂导线 72d
分波器 137a, 41b, 91d
分散控制 137a
 分时计度电能表 142d
分时系统 137c, 30c
分压器 137d
分子极化率 138d
 分组交换 194c
分组交换公用数据网 138f
 分组密码 293c
 粉云母 369e
峰值电压表 139e
 峰值时间 t_p 118d
 弗根鲍姆, E. A. (Edward
 A. Feigenbaum) 277b
 弗莱明, J. A. (J. A.
 Fleming) 109c, 109f
伏安 139f
 伏安特性 332d
伏秒特性 140a
伏特 140e
 氟金云母 369d

浮点表示 293f
 幅频特性 131d
 福特, L. R. (L. R. Ford) 325b
辅助存储器 140e, 320c
 负电性气体 141a
负电性气体击穿 141a
负离子的形成 141e
 负逻辑体制 252d
 负序 281e
负序电流表 142a
 负载与传输线的阻抗
 匹配 397b
 负载与电源的阻抗匹配 397b
 负载中性点位移 26f
复电容率 142b
复费率电能表 142d
复功率 142f
复合 143a, 88b
复合材料 143d
 复数导纳 343c
 复数阻抗 343b
 复杂指令系统 381e
 富尔克森, D. R. (D. R.
 Fulkson) 325b
 富兰克林, B. (Benjamin
 Franklin) 85b
 盖革-弥勒(GM)计数管 45a
 干扰 236a
 感应电动势 78a
 感应耐压试验 261b
 感应系 95d
 高次谐波 136a
 高导磁材料 278b
高电压测量 144a
高电压技术 144e
 高电压绝缘 145e
高电压绝缘试验 146d
 高电压试验技术 146a
高分子绝缘材料 147b
 高级汇编程序 172d
 高精度电压基准功能块 183e

高斯 147d
 高斯, C. F. (C. F. Gauss) 399c
高斯通量定理 147e
 高斯制 104f
高速缓冲存储器 147e
 高通滤波器 365f
高压电子示波器 148a
高压下气体击穿 148d
高阈值逻辑门 149b
高阻表 149d
 割集 323c
 隔离放大器 32b
 个人计算机 327a
 各向同性电介质 104a
 各向异性电介质 104a
 根的子树 292c
 根轨迹 150a
根轨迹法 150a
 跟踪问题 339e
工程工作站 151d
 工程控制论 395b
 工频 136a, 200a
 工频网络试验 283b
工频试验变压器 152a
 工频谐振试验装置 270a
 工业机器人 174f
 功率 266e
功率表 152d
功率测量 153a
 功率放大倍数 131c
功率放大电路 153e
功率晶体管 154d
功率因数 154f
功率因数表 155b
功率因数测量 155f
 功率增益 131c
 共轭匹配 397b
共基放大电路 156b
共集放大电路 156e
共射放大电路 157a
 共态方程 14b
 共享表 22b
 共享存储器系统 23e

估计理论 157c
古典控制理论 209a
固定电阻器 113b
固体电介质的电导 157f
固体电介质击穿 158d
固有频率 366f
顾客/服务器方式 322a
关键字 20e
关联矩阵 158f, 323f
关系数据库 158f
关系数据理论 158a
管理信息系统 159b
光导管 160c
光电半导体器件 160b
光电池 161c
光电动势 80e
光电二极管 160e
光电发射 362b
光电离 161d
光电耦合器件 160d
光电三极管 161d
光控晶闸管 212e
光敏电阻 160c
光盘存储器 162b
光线示波器 162d
广域网 194d
归并搜索 20e
归纳模型法 65d
规范型 163b
硅钢片 278c
硅稳压二极管 164a
硅稳压管稳压电路 164d
国际标准化组织(ISO) 85a
国际单位制 105a
国际电工委员会(IEC) 85a
国际法制计量组织
(OIML) 85a
国际计量局(BIPM) 85a
过渡过程 374f

哈林顿, J. (J.
Harrington) 191d

哈密顿函数 14a
哈密顿-雅可比-贝尔曼
方程 165a
哈特莱振荡器 241b
海拔校正系数 165a
海氏电桥 165c
函数式程序设计 39c
汉字国标码 165c
汉字输入输出设备 165f
汉字显示器 166d
汉字信息处理 166f
行编辑方式 11f
行式打印机 289b
耗尽层 5a
耗散结构理论 337b
合成绝缘油 167d
合成碳膜电位器 103e
合成油 167d
赫尔维茨, A. (A.
Hurwitz) 209b
赫耳, A. W. (A. W. Hull) 109d
赫兹 168b
赫兹, H. R. (Heinrich
Rudolf Hertz) 76f, 251d
黑箱问题 117f
亨利 168c
恒定传导电流 168e
恒定磁场 52b
恒定电场 168c, 77a
横电磁模 48c
宏汇编程序 172d
互感 81d
互感器校验仪 169b
互易定理 169f
互易二端口 125d
华尔屯定律 356b
滑闪放电 355d
滑石瓷 73d
化合物半导体材料 170b
环节 170d
环境老化 87f
环境维护程序 287e
灰箱问题 117f

回路 323c
回路法 171e
回路增益 351a
汇编程序 172a
会话层 228c
惠斯登电桥 382d
混合集成电路 181e
混合节点 351a
或逻辑 368d
或门 368d
霍尔, C. A. R. (C. A. R.
Hoare) 294d
霍耳, E. H. (E. H. Hall) 172d
霍耳器件 172d
霍耳特斯拉计 60b
霍耳效应 52b

几何磁阻效应 57f
击穿电场强度 72d
击穿电压 268d, 376c
击穿电压的概率分布 233f
击穿试验 173f
击打式印字机 166e, 289a
机器人 174e
机械老化 87e
机械示波器 162e
机械式指示电表测量
机构 175d
简并半导体 3f
积分环节 171b
积分控制 238a
积分器 176c
基本单位 104d
基本割集 323e
基本割集矩阵 177f, 324b
基本回路 323d
基本回路矩阵 177f, 324a
基本 RS 触发器 177f
基波电流 178c, 136f
基尔霍夫电流定律 178c
基尔霍夫电压定律 178e
基尔霍夫定律 178c

基尔霍夫定律的相量
形式 342f

基尔霍夫, G. R. (G. R. Kirchhoff) 178c, 322f

基数分类 136f

基于知识的系统 390f

基值 294a

畸变功率 178f

畸变因数 396f

激光印字机 289b

激励 179b

极大似然估计 157c

极大值原理 179e

极点 179d, 47b

极点配置 179d

极限磁滞回线 62b

极限环 179e, 345a

极小值原理 179e

极性电介质 86a

极性效应 233f

极坐标式交流电位差计 202d

集成触发器 180c

集成单稳态触发器 181a

集成电路 181e

集成逻辑门电路 182c

集成稳压块 182d

集成运算放大器 183f

集电结 7a

集肤效应 272a

集结法 65e

集总参数电路 93f

集总电路 93f

计测电阻材料 185c

计算机 185c

计算机病毒 187d

计算机场地技术 187e

计算机仿真 188a

计算机辅助测试 188d

计算机辅助监测与诊断
系统 226a

计算机辅助设计 189a

计算机辅助制造 189f

计算机过程控制 190e

计算机集成制造系统 191d

计算机可靠性技术 192a

计算机软件 192d

计算机视觉 255a, 276d

计算机图形学 193b

计算机网络 194a

计算机系统安全与保密 195b

计算机系统结构 195d

计算机应用 195f

计算机硬件 196d

计算机主体 196f

记录仪表 75d

记数制 293e

记忆电路 94b

技术磁化 53d

加法器 197c

加权最小二乘估计 399f

夹层极化 86f

夹断电压 U_p 223b

贾菲, B. (B. Jaffe) 354b

价带 261e

架空传输线 48c

间接测量 74f

间接复合 374d

间接寻址 381c

间隙击穿 355b

间隙系数 34f

监督控制 190f

检流计 197f

检流计的电流常数 198b

检取器 319a

减法器 199b

简单汇编程序 172c

键盘 319a

键盘输入设备 289f

江崎二极管 308b

江崎玲於奈 308b

降阶观测器 199e

降维观测器 199e

交变电流 91b

交互式编辑程序 11f

交流 199f

交流电流表 91f

交流电流激增点试验 200b

交流电桥 200d

交流电位差计 202b

交流电压表 106b

交流电阻 111c

交流高电压测量 202f, 144b

交流耐压试验 261a

交流数字电压表 202f

焦耳 203b

焦耳定律 203c

焦耳定律的微分形式 203d

焦耳, J. P. (James Prescott Joule) 203c

角差 359a, 359e

角频率 380a

矫顽力 62a, 284d

较量法 75a

较量仪器 75c

阶码 293f

阶跃响应 203d

接触电动势 80e

接地电阻 111d

接地器 111d

接收寄存器 371d

节点 322e, 350f

节点导纳矩阵 324e

节点电压 204f

节点法 204f

节拍脉冲发生器 251e

结构图 204a, 239f

结型场效应晶体管 204b

解释程序 205d

解调器 205f

介电常数 100c

介电谱 206f

介电色散与吸收 206e

介质损耗 206f

介质损耗角 100f

介质损耗角正切 100f, 206b

介质损耗角正切试验 207c

介质损耗试验 146f

介质陶瓷 73e

金铬合金 185d

金属玻璃釉电位器 103e
金属导电机理 207d
 金云母 369d
 进程 30e, 39b
 进程管理 30e
 禁带 261e
禁带宽度 208e
经典控制理论 209a
 经典信息结构 307e
 晶体管 6d
晶体管电压表 209f
 晶体管-晶体管逻辑电路 ... 309c
 晶体间流管 211c
晶体振荡器 210d
晶闸管 211c
晶闸管保护电路 212f
 精简指令系统 381f
 阱点 351a
 景物匹配和识别 302e
 竞争和险态 287a
 静电比拟 168a
静电场 215a, 77a
静电电压表 215e
静电感应 216a
 静电控制电子管 375e
 静电屏蔽 216c
 静电系测量机构 176b
 静电系电压表 106b
 静态表 22b
 静态触发器 180f
静态磁性测量 216c
 静态电容 98e
 静态电阻 111c
 静态模型 298c
 静态随机存储器 4a
 静态自感 81a
局部放电 217a
 局部放电起始电压 217d
局部放电试验 217d
 局部放电熄灭电压 217d
局域网绝 218e
 矩形波信号发生器 133f
巨型计算机 219f

锯齿波信号发生器 134b
卷积 220c
决策支持系统 220f
 绝缘材料 83c
绝缘材料的长期耐热性 221d
 绝缘电阻 111d
绝缘电阻率试验 221e
 绝缘强度试验 146f
 绝缘油 358d
绝缘栅场效应功率
 晶体管 224b
绝缘栅场效应晶体管 222b
 绝缘栅双极型晶体管 224e
 绝缘诊断 145f
绝缘诊断技术 224e
绝缘子干闪络试验 ... 226c, 283a
绝缘子湿闪络试验 ... 226d, 283a
绝缘子污秽放电试验 226d
 均匀传输线方程 48e
 均匀磁场 52c
 均匀电场 215b

卡尔曼滤波 227a
 卡尔曼, R. E. (R. E. Kalman) 227b
 卡诺图 250a
 开尔文电桥 386a
开放系统互连 227e
开关电容滤波器 228d
开关索压电路 229b, 329d
 开环控制系统 236c
开环系统 230a
开路 230a
 开路电压 230a
 开启电压 U_T 222f
 铠装电缆 48d
 坎贝尔桥法 83b
 康铜 185d
抗磁性 230a
 抗磁质 230b
柯尔-柯尔圆图 230e
 科德, E. F. (Edgar F.

Codd) 294f
 科皮兹振荡器 241c
科学计算 230e
 科学计算可视化 187a
 科学计算软件 230f
可编程控制器 231a
可编程逻辑阵列 231c
 可编程只读存储器 4c
 可变电阻器 113b
 可擦可编程只读存储器 4c
 可关断晶闸管 212e
可观测性 231f
 可控硅整流器 211c
可控性 232e
 可抹型光盘 162c
 克拉泼振荡器 241e
克拉索夫斯基方法 233b
 空带 261e
 空间电荷极化 86f
 空间电荷区 5a
空气 233d
空气间隙击穿电压 233f
 空树 292c
 控制 394
 控制量 236a
 控制论 395a
控制器 234f, 389b
控制系编 235f
控制系统设计与补偿 236d
控制系统稳定性 237a
控制作用 237d
 库伏特性 333b
 库利, J. W. (J. W. Cooley) 239b
库仑 238f
 库仑, C. A. de (C. A. de Coulomb) 76d, 239a
库仑定律 238f
 库仑规范 59c
 库珀对 37b
 库珀, L. (L. Cooper) 37a
快速傅里叶变换 239b
 快速三极管晶闸管 212e

快速通道	316e	设备	166c	滤波	250f
矿物绝缘油	239d	联想存储器	246d		
框图	239f	两对传输线间的互感	82a	马尔特(Malter)效应	362d
扩散	240e	两同轴长螺线管间的互感 ...	82a	迈斯纳, W. (W.	
扩散电容	6a	两位控制	237f	Meissner)	36f
扩展二—十进制交换码	68e	量化误差	244b	迈斯纳效应	36f
		廖勃, L. B. (L. B. Leob)	247c	麦卡锡, J. (Mohn	
		临界电压	355b	McCarthy)	276f
拉普拉斯变换	115e	临界弧长	355b	麦科尔, L. A. (L. A.	
拉普拉斯方程	242b	临界泄漏电流	355b	MacColl)	209d
拉普拉斯, P. S. (Pierre		零地址指令	381a	麦克斯韦	251a
Simon Laplace)	242b	零点	247a, 47b	麦克斯韦方程组	251b
莱顿瓶	102d	零输入响应	247a	麦克斯韦, J. C. (J. C.	
莱夫科维茨, I.		零位法	75a	Maxwell)	53b, 76e,
(I. Lefkowitz)	66d	零状态响应	247b	78e, 209b, 251b,	
劳思-赫尔维茨稳定判据 ...	242f	流控分流器	305c	324f, 327d, 394e	
累加寄存器	371d	流式磁带机	54b	麦克斯韦-维思电桥	251e
雷电冲击	146a	流水线处理机	23b	脉冲函数	44a
雷电冲击电压标准		流水线控制	235e	脉冲顺序分配器	251e
波形	243f, 42e	流形上的控制理论	337a	脉冲异步时序电路	286d
雷特, H. (H. Reather)	247c	流注放电理论	247b	脉动电流	91b
楞次定律	243f	硫化据	248e	脉动系数	377c
离散系统	243f	六氟化硫	249a	满带	261e
离子极化率	138e	漏极	222d	梅森, S. J. (S. J. Mason)	325a
离子型电介质	86b	漏极特性曲线	222f	梅森 (S. J. Mason) 增益	
黎卡提方程	244f	漏源击穿电压	223e	公式	351e
黎卡提微分方程	339a	卢瑟福, E. (E.		美国信息交换标准码	68b
李雅普诺夫方法	244f	Rutherford)	144f	门电路	252b
李雅普诺夫函数	245c	鲁棒控制	336f	门限电压	10b
李雅普诺夫函数法	67b	鲁棒调节器	336f	锰钢	330c
理想变压器	245f	鲁棒性	336f	锰铜	185c
理想采样	28f	路由器	194f	锰锌铁氧体	278c
力率	154f	伦敦, F. (F. London)	36f	米哈依洛夫, A. B. (A. B.	
力线	76e	伦琴, W. K. (W. K. R6)	144f	Михайлов)	209c
立即寻址	381a	罗厄耳, J. (J. Rowell)	37c	米克, J. M. (J. M. Meek) ...	247c
利萨如 (Lissajous) 图形	265e	罗戈夫斯基线圈	249e, 41c	米勒, H. W. (H. W.	
利萨如图形法	265e	逻辑非	368e	Müller)	2d
连接编辑程序	246c	逻辑函数	249f	米诺尔斯基, H. (H.	
连接装配程序	246c	逻辑图	250a	Минорский)	209b
连通图	318d, 323b	逻辑移位	371a	密码术	293c
连续系统	244a	逻辑诊断	225d	图积效应	252d, 358d
连支	323c	洛伦兹力	54b	描述函数法	252e
联机实时手写汉字识别		铝	250d		

缪勒, K. A. (K. A. Müller) 36c

明斯基, M. (M. Minsky) 276a, 276f

模糊控制 336f

模糊诊断 225d

模块汇编程序 172c

模拟乘法器 **253f**

模拟电荷 242d

模拟电荷法 242d

模拟电子电路 108b

模拟开关 228d

模拟式谐波分析仪 348a

模拟式仪表 75c

模匹配 397b

模式描述语言 296f

模式识别 **254d**

模数转换器 **255c**

模型参考适应控制系统 **256b**

模型库和方法库 221b

摩尔磁化率 55c

莫尔, C. N. (C. N. Mooers) 271d

目标程序 128e, 172b

目标函数 401a

目标语言 128e

钼 128c

钠玻璃 24d

奈奎斯特, H. (H. Nyquist) 209c

奈奎斯特图 **257d**

奈奎斯特稳定判据 **258c**

耐电弧试验 **259e**

耐电弧试验 **268a**

耐电晕试验 **260b**

耐高温材料 **260d**

耐压试验 **260f**

内存存储器 390a

能带理论 **261c**

能隙 261e

尼科尔斯图 **262a**

逆导三极晶闸管 212d

逆相序 346a

逆压电效应 354b

镍铬合金 128b, 185d

镍铬铁合金 312c

镍锌铁氧体 278c

纽厄尔, A. (Allen Newell) 276f

诺顿等效电路 262e

诺顿定理 **262d**

诺顿, E. L. (E. L. Norton) 262d

诺伊曼, J. (John Von Neumann) 276e

欧几里得 (Euclid) 306c

欧拉方程 13e

欧拉, L. (L. Euler) 322f

欧拉-拉格朗日方程 **263a**

欧姆 **263a**

欧姆定律 **263b**

欧姆定律的微分形式 263d

欧姆定律的相量形式 343b

欧姆, G. S. (George Simon Ohm) 263b

欧文电桥 **263e**

偶函数波形 136a

派克, P. C. (P. C. Parks) 256b

庞特里雅金, П. С. (П. С. Понтрягин) 336c

“砰-砰”控制 399b

硼硅酸玻璃 24e

碰撞电离 **264e**

碰撞电离系数 α 310c

批处理编辑程序 11f

批处理系统 **264e, 30c**

皮克, J. (J. Peek) 145a

频率 **264e, 200a**

频率表 **265a**

频率测量 **268d**

频率法 266b

频率解调器 205a

频率失真 131e

频率特性法 266b

频率调制电路 314d

频率响应 131c, 131d

频率响应法 **266a**

频谱 **266d, 135f**

品质因数 210f, 349d

平衡点 344d

平滑 **266d**

平均放电电流 217c

平均功率 **266d**

平均值 **266f**

屏蔽装置 79f

坡莫合金 278c

坡印廷定理 267d

坡印廷, J. H. (J. H. Poynting) 267b

坡印廷矢量 **267b, 285c**

破坏性试验 147a

齐纳击穿 164b

奇点 **268a**

奇函数波形 136a

奇异摄动法 66a

启发性知识 390f

起始磁化率 55d

气体电介质的电导 **268a**

气体击穿理论 **268d**

气体绝缘材料 **268f**

气体绝缘金属封闭电器

绝缘试验 **269e**

千瓦时表 95c

迁移率 **278d**

钎焊材料 **270f**

铅玻璃 24e

前端处理机 317a

前向通路 351a

前向通路增益 351a

钱学森 209d

嵌套中断 388e

强制性或过程性语言 39c

情报检索 271c
丘吉, A. (A. Church) 306d
趋表效应 272a
趋肤效应 272a
去激励 179c
全电流定理 53a
全屏幕编辑方式 11f
确定性系统 307b

热电离 273f
热发射 362c
热感应印字机 289c
热固性塑料 273f
热击穿 274c
热老化 87c
热平衡载流子 373f
热释电材料 274f
热释电效应 274f
热塑性塑料 275b
热载流子二极管 346e
人工神经网络 275e
人工神经元网络 277c
人工污秽试验 226e
人工智能 276b
容错设计 192b
熔敷粉末材料 277d
熔体材料 277e
冗余技术 192b
柔性制造系统 190c
软磁材料 278b
软磁盘 58e
软磁铁氧体 61d
软件测试 278d
软件工程 278c, 193a
软件管理 279d
软件冗余 192c
软件生存周期 278e
软件维护 278d
软件支援环境 278f

萨伐尔, F. (Felix Savart) ... 11b
萨瑟兰, I. (Ivan

Sutherland) 189b
三倍频试验装置 280a
三地址指令 380f
三端输出电压固定式
稳压块 182e
三端输出电压可调式
稳压块 183a
三相电路 94d
三相电路功率 280f
三相电源 281c
三相负载 282b
三相功率因数表 155e
三相三线制 121c
三相四线制 121c
三相同步发电机的工作
原理 281c
三相制均衡输电线的
电感 82b
散列函数 282f
散列算法 282d
扫描仪 290a
闪络试验 282f
上升时间 118c
少数载流子 373a
少子 4f, 373a
设备管理 30f
设备控制器 291e
射极耦合逻辑门 283c
摄动法 66a
摄像管 111a, 375f
砷化镓 284a
神经元 275f
剩磁 284c, 315f
剩余磁感应强度 284c
施里弗, J. (J. Schrieffer) 37a
湿软电阻材料 284c
十进制制 293e
石英玻璃 24d
石英晶体 285b, 210d
时变磁场 52b
时变电磁场 285b, 77a
时变电路 94b
时变动态电路 94c

时变二端口 125c
时变系统 285e
时变元件 95a
时间冗余 192c
时间最优控制 398f
时序逻辑 286a
时序逻辑电路 287b
时域分析 115c
时钟 RS 触发器 287b
实际性误差 328d
实时系统 287e, 30d
实现 392f
实用程序 287e
实用单位制 105a
史密斯图 369f
矢量位 59d
示波管 110
势垒电容 6a
视在电量 217c
视在功率 287f
适应控制系统 288a
受控源 288c
疏失误差 75f
输出电容 131e
输出电阻 131e
输出反情 289a, 338d
输出方程 391e
输出节点 351a
输出量 236a
输出设备 289a
输出调节器问题 339c
输出阻抗 131e
输入电容 131e
输入电阻 131e
输入节点 350f
输入量 235f
输入设备 280f
输入输出处理机 290c
输入输出法 67b
输入输出控制系统 291a
输入输出设备 320c
输入输出设备控制器 291e
输入输出系统 292b

输入信号功率/输出噪声
功率 132a
输入阻抗 131e
鼠标器 290a
树 323c
树结构 **292c**
树枝 323c
数据 **292f**
数据保密技术 **292f**
数据表示 **293d**
数据操作语言 297a
数据放大器 31e
数据寄存器 390b
数据结构 **294d**
数据库 295f
数据库管理系统 **294e**
数据库系统 **295a**
数据库系统保护 **296d**
数据库语言 **296f**
数据类型 **297b**
数据链路层 228b
数据流处理机 23f
数据描述语言 296f
数据模型 295d
数据选择器 123d
数控 190b
数码管 45b
数模转换器 **297c**
数学规划 **298a**
数学模型 **298c**
数字采集系统 **298d**
数字测量系统 298d
数字电路 **299f**
数字电能表 **299c**
数字电压表 **300b**
数字电子电路 108c
数字功率表 **300f**
数字绘图机 289c
数字记忆示波器 298f
数字频率表 **301b**
数字式谐波分析仪 348c
数字式仪表 75d
数字图象处理 **301e**

数字万用表 **302f**
数字微欧表 **303c**
数字相位表 **303c**
数组 22c
数组的维数 22c
数组多路通道 316f
数组通道 316f
刷新 180f
衰减常数 49b, 74c
双边带调制 313c
双极型半导体器件 **304b**
双极性扩散 240f
双门限比较器 10f
双线性系统理论 337a
双斜积分数字电压表 300c
顺磁性 **304c**
顺磁质 304c
顺相序 346a
顺序程序语言 40c
顺序搜索 20e
顺序文卷 328a
瞬时值 **304e**
四象限模拟乘法器 **305a**
似稳磁场 52b
伺服机构 209c
松弛现象 **305f**
松弛时间 306a
算法 **306b**
算法分析 306f
算法复杂度 306e
算法设计 306e
算术逻辑部件 196e, 370f
算术逻辑部件器 389a
算术移位 371a
随机存储器 **307a, 4a**
随机控制 307a
随机控制理论 **307a**
随机误差 75f
随机系统 307b
随机系统控制理论 307a
随机系统理论 307a
随机最优控制 **307d**
隧道二极管 **308a**

隧道效应 362d
损耗角 206b
索引文卷 328a

碳和石墨 312d
碳化硅 **309f**
汤姆逊电桥 386a
汤姆逊 J. J. (J. J. Thomson) 109c, 109f
汤森放电理论 **310a**
汤森, J. S. (J. S. Townsend) 310a
汤森击穿判据 310f
特勒根, B. H. (B. H. Tellegen) 311b
特勒根定理 **311b**
特斯拉 **311e**
特斯拉计 59f
特性阻抗 **311e, 49d**
体积磁化率 55c
体积效应 **311f, 358d**
替代定理 **311f**
替代法 75b
天然纤维 335f
条件汇编程序 172c
调幅器 312f
调集振荡器 241f
调节电阻材料 **312c**
调频器 312f
调试程序 **312d**
调相器 312f
调制器 **312f**
调制与解调电路 **314b**
铁磁电动系机构 175f
铁磁谐振电路 **314d**
铁磁性 **315c**
铁磁质 315c
铁电材料 **315f**
铁淦氧 130e
铁铬合金 128c
铁铬铝合金 185d, 312c
铁钴钕合金 61d

铁镍合金 278c
 铁氧化物 130e, 278c
 通带 365e
通道 **316c**
 通路 351a
 通信处理机 316f
 通信接口处理机 316f
通信控制处理机 **316f**
 通信子网 194a
 通用 CAD 软件 189d
 通用寄存器 389c
 同步表 317e
同步计数器 **317c**
 同步控制 235b
 同步时序电路 286c
同步指示器 **317e**
 同轴传输线 48d
 同轴电缆的自感 81c
铜 **318a**
 铜铬合金 312c
 铜镍合金 312c
 统计模式识别 254f
 统计诊断 225e
 突变论 337b
 图 322e
 图基, T. W. (T. W. Tukey) 239b
图结构 **318c**
 图灵, A. M. (A. M. Turing) 276e, 306d
 图论 322e
 图象的分割 302d
 图象的恢复 302b
 图象的描述 302d
 图象的数字化 302a
 图象的压缩 302c
 图象的增强 302b
 图形编辑程序 12a
 图形输入设备 290a
图形输入输出设备 **318f**
 推理机 390f
 脱机设备 320d
 椭圆极化波 74d

椭圆旋转磁场 353f
 拓扑约束 93c
 瓦拉塞克, J. (J. Valasek) 316b
瓦特 **320a**
 瓦特, J. (J. Watt) 209b
瓦特小时 **320b**
 外存储器 140e, 320c
 外临界电阻 198b
 外施耐压试验 261b
 外围处理机 290c
外围设备 **320b**
 外围设备控制器 291e
万用表 **320e**
万用交流电桥 **321c**
 网关 194f
 网间互连器 218f
 网络操作系统(NOS) 31c
 网络层 228b
 网络服务器 218f
 网络管理软件 321f
 网络互连 194f
 网络接口机 218f
网络流 **321c, 325b**
网络软件 **321c**
 网络通信软件 321e
网络图论 **322e**
 网络拓扑 322f
 网路协议软件 321c
网状数据库 **325c**
微波电子管 **328d, 375f**
 微程序控制器 235d
微处理器 **326a**
 微分环节 171a
微分器 **326c**
 微机 327a
 微机操作系统 31c
微型计算机 **326f**
 韦安特性 333e
韦伯 **327c**
 韦伯计 59f

维纳, N. (N. Wiener) 209d, 395a
 维什涅格拉茨基, И. А. (И. А. Вышнеградский) 209b
 伟狄基(Whitaker) 256b
 尾数 293f
 位片式阵列处理机 23b
位移电流 **327c**
 温差电动势 80e
 温差电动势率 80e
 温度指数 221d
 文件 278f
 文件存储器 140e
 文件管理 31a
文卷 **327f**
 文卷操作程序 287e
 文卷系统 328c
 文氏电桥式振荡器 273a
 稳态加速度误差系数 328f
 稳态速度误差系数 328f
 稳态位置误差系数 328f
稳态误差 **328d**
稳态响应 **329c**
稳压电路 **329c**
 稳压管 44f
 涡电流 329e
涡流 **329c**
涡流损耗 **330a**
 沃思, M. (N. Wirth) 294d
 沃伊特, W. (W. Voigt) 354b
 沃兹涅先斯基, И. Н. (И. Н. Вознесенский) 209
 污闪 355f
 污闪电压 355b
 钨 128c
 无磁芯环形密绕线圈的
 自感 81c
无磁性铜铁材料 **330b**
 无功补偿 331b
无功电能表 **330c**
无功功率 **331a**
无功功率表 **331e**
无功功率测量 **332b**

- 无机固体绝缘材料 332b
- 无畸变线 49e
- 无记忆电路 94a
- 无静差系统 328d
- 无向图 318c
- 无序树 292d
- 无源二端元件 332d
- 无源元件 95b
- 伍德, R. W. (R. W. Wood) 376c
- 物理层 228b
- 物理磁阻效应 57f
- 误差检测器框图 240a
- 西勒振荡器 241f
- 西林电桥 335d, 100b
- 西门子 335d
- 西蒙, H. (Herbert Simon) 276f
- 稀疏矩阵 21a
- 系列机 195e
- SKETCHPAD 系统 193c
- 系统 394c
- 系统辨识 117e
- 系统程序 38e
- 系统论 395c
- 系统软件 186b, 192f
- 系统文卷 328b
- 系统误差 75f
- 系统学 395c
- 先导 34d
- 纤维材料 335e
- 显示管 375f
- 显像管 110f, 375f
- 现代控制理论 336b
- 线电流 337d
- 线电压 337e
- 线极化波 74d
- 线绕电位器 103d
- 线图 322e
- 线性表 22b
- 线性电介质 104a
- 线性电阻 111c
- 线性电阻电路 94b
- 线性定常控制系统 391f
- 线性定常系统 340a
- 线性动态电路 94c
- 线性二次型次优控制 338a
- 线性二次型最优控制 338e
- 线性二端口 125c
- 线性非时变电感器 333e
- 线性非时变电容器 333b
- 线性非时变电阻器 332e
- 线性非时变受控源 288f
- 线性控制系统 340a
- 线性失真 131e
- 线性时变电阻器 333a
- 线性时变系统 340a
- 线性稳压电路 329d
- 线性元件 95a
- 线性最小方差估计 340b
- 香农, C. E. (C. E. Shannon) 209d, 276e
- 香农 (Shannon) 采样定理 29b
- 响应 341c
- 响应时间 118e
- 向量指令 381e
- 向量中断 388f
- 相比起痕指数 259d
- 相电流 341d
- 相电压 341e
- 相对磁导率 52e
- 相对温度指数 221d
- 相对稳定性 340e
- 相对寻址 381c
- 相间电压 337e
- 相角测量 341e
- 相量法 342c
- 相量图 344a, 342f
- 相频特性 131d
- 相平面法 344a
- 相位 345f
- 相位差 380h
- 相位常数 49b
- 相位解调器 205c
- 相位调制电路 314d
- 相位谐振 349c
- 相序 281e
- 相序指示器 345f
- 象函数 115f
- 像增强管 111a
- 橡胶 346b
- 肖克莱, W. B. (W. B. Shockley) 108a, 109f
- 肖特基二极管 346e
- 小巨型机 220b
- 小型计算机 346f
- 协议 228b
- 谐波报警器 347b
- 谐波电流 347d
- 谐波电流表 347e
- 谐波分析仪 348a
- 谐波功率 348d
- 谐波波向仪 348f
- 谐振 349c
- 谐振电桥 350d
- 谐振角频率 349c
- 谐振频率 349c, 366f
- 谐振曲线 349d
- 泄漏电流 350d
- 泄源电流试验 350d
- 信号处理系统 298d
- 信号波图 350e
- 信号流图法 325a
- 信息 292f
- 信息论 395b
- 星接阻抗和三角接阻抗的变换 352a
- 性能指标 401a
- 虚地 197e
- 虚短 197e
- 虚断 197e
- 虚拟存储器 352d
- 序列密码 293c
- 旋特磁场 353b
- 旋转相量 342d
- 选择通道 316e

- 寻址 381a
- 寻址方式** 353f, 381a
- 循环移位 371a
- 压电材料** 354a
- 压电效应 80f, 210e, 354b
- 压电性 354b
- 压敏电阻器** 354d
- 亚铁磁性 130e
- 亚稳态 179c
- 延迟时间 118c
- 沿面放电** 355a
- 沿面闪络 355b
- 沿污染电介质表面放电** 355e
- 掩模编程只读存储器 4b
- 演绎模型法 65d
- 氧化铝瓷 73d
- 氧化铍瓷 73d
- 氧化锌** 356c
- 摇表 149e
- 遥控机器人 175a
- 页式存储管理 352d
- 液晶显示器 166e
- 液体电介质的电导** 356f
- 液体电介质电击穿** 357c
- 液体电介质击穿** 357e
- 液体电介质气泡击穿** 357f
- 液体电介质小桥击穿** 358a
- 液体绝缘材料** 358d
- 一次写入型光盘 162c
- 一分钟工频耐压试验 261a
- 一阶惯性环节 170e
- 仪表放大器 31e
- 仪用电流互感器** 350f
- 仪用电压互感器** 359c
- 移位寄存器** 359f
- 移相电桥 370b
- 移相式振荡器 273a
- 异步计效器** 360e
- 异步控制 235c
- 异或逻辑 368f
- 异或门 368f
- 译码器** 361d
- 易熔玻璃 24e
- 阴极射线管显示器 166d
- 阴极电子发射** 362b
- 阴极射线示波管** 362e
- 阴极射线示波器** 363c
- 银锰合金 185d
- 引燃管** 364a
- 印刷体汉字识别机 166b
- 应变电阻材料** 364d
- 应用程序 38f
- 应用软件 186c, 193a
- 硬磁盘 58d
- 硬件冗余 192b
- 硬连逻辑控制器 235c
- 永磁材料** 364f
- 用户文卷 328b
- 用户资源 194a
- 油中沿面放电** 365a
- 有功功率 266e
- 有机实芯电位器 103e
- 有静差系统 323d
- 有限元法 242d
- 有向图 318c
- 有效值** 365d
- 有序树 292d
- 有源滤波器** 365e
- 有源元件 95b
- 右手定则** 368a, 78c
- 右移移位寄存器 360a
- 与、或、非、异或门** 368b
- 与逻辑 368b
- 与门 368b
- 语法分析 12f
- 语义分析 12
- 语音汉字输入设备 166c
- 语音识别系统 290c
- 语音输入设备 290e
- 预测** 369a
- 预处理程序 128f
- 预防性检查 145f
- 阈值电压 10b, 149b
- 元件约束 93e
- 元素半导体材料** 369b
- 原函数 115f
- 原理性误差 328d
- 原码表示 294c
- 原子(或离子)位移极化 86f
- 圆极化波 74d
- 圆图** 369e
- 圆旋转磁场 353c
- 源程序 128e, 172b
- 源点 72b, 350f
- 源极 222d
- 源语言 128e
- 约瑟夫森, B. D. (B. D. Josephson) 37c
- 云母** 370d
- 允带 261e
- 运放 183f
- 运流电流 91a
- 运输层 228c
- 运算流水线 23d
- 运算器** 370f, 389a
- 杂散电容 98d
- 杂质离子电导 88d
- 载流子** 373f
- 载波子寿命** 374c
- 再定位装配程序 246c
- 在线检测 145f
- 暂态响应** 374d, 49f
- 噪声系数 132a
- 增幅振荡 379d
- 栅极 222d
- 栅源击穿电压 223e
- 闸流管** 375b
- 詹姆斯, H. M. (H. M. James) 209d
- 栈 22c
- 战略信息系统 187b
- 兆欧表 149e
- 真空电子器件** 375d
- 真空击穿** 376b
- 真值表 250a, 397f

阵列处理机	23a	直接寻址	381c	转动力矩	175d
振动检流计	377a, 198f	直流	382d	转向极化	86f
振幅解调器	205f	直流补偿器	384a	转向极化率	138e
振幅调制电路	314c	直流磁路计算	57a	状态变量	393c
振子	377a, 198f	直流单比电桥	382d	状态反馈	391b, 339a
整步表	317e	直流电流	91b	状态方程	14b, 391e
整流电路	377a	直流电流表	91d	状态估计	157f
整流式电表	378c, 14c	直流电流互感器	383a	状态估计器	391b
整流效率	377d	直流电流源	92b	状态观测器	391b
整字汉字输入键盘	166a	直流电能表	382d	状态空间	393c
正流注	247f	直流电位差计	384a	状态空间表达式	391e
正逻辑体制	252d	直流电压表	106a	状态空间法	393b
正文编辑程序	12a	直流电压源	106e	状态调节器问题	338f
正文和图形综合编辑程序 ..	12a	直流电阻	111c	状态重构器	391b
正弦波信号发生器 ...	378c, 379a	直流放大器	384e	状态转移矩阵	393e
正弦波振荡电路	379a	直流高电压测量	385b, 144b	追记型光盘	162c
正弦电流	379f	直流高电压发生器	385b	子程序	38f
正弦电流电路	380c	直流耐压试验	261c	子串	22c
正弦交流电路的计算	343d	直流闪络试验	283a	子通道	316e
正弦量的三要素	380a	直流双比电桥	386a	子图	323b
正序	281e	质量磁化率	55c	自持放电	268e
支路	322e, 350f	智能 CAD	189e	自持放电条件	394b, 310e
支路电流法	380c	智能机器人	175a, 276d	自动控制理论	394c
支援软件	186c, 192f	智能控制	191b, 276e, 337a	自动控制系统	235f, 394c
只读存储器	380e, 4b	滞后补偿	386c	自动平衡式记录仪	395d
只读型光盘	162c	滞后-超前补偿	387b	自动调节系统	236b
知识工程	391a	中新	388b	自发极化	396a
知识库	390f	中新控制	388e	自感	80f
指零仪	382e	中新屏蔽	388e	自感电动势	80f
指令格式	380e,	中断系统	388a	自激振荡	379c
指令流水线	23b	中断优先权	388e	自校正适应控制系统	396c
指令系统	380e	中线	121c	自校正调节器	396e
指令周期	389c	中央处理器	389a	自然功率	49f
直读法	75a	终端	389e	自然污秽试验	226d
直读式电表	75c	终端设备	389e, 320d	自然语言处理	276d
直角坐标式交流电位		重写	180f	自适应控制系统	288a
差计	202b	周期	199f	自由载流子	373f
直接测量	74f	朱经武	36c	字符串	22c
直接存储器存取	291b	主存能器	390a	字符显示器	289d
直接复合	374d	驻极体	390b	字节多路通道	316e
直接驱动式记录仪表	381f	专家系统	390d	字节交叉传送	316e
直接数字控制	190f	专用 CAD 软件	189d	综合业务数字网 ...	195a, 322d
直接文卷	328b	专用微型机	327a	总谐波畸变率	396f

阻带	365e	BTAM	321f	DQDB	194e
阻抗	397a , 343b	BTL	153b	DRAM	4b
阻抗角	343b	C 语言	28a , 40f	DS	228c
阻抗模	343b	CAA	191e	DSS	3b, 220f
阻抗匹配	397a	CAD	187a, 189a	DTL	149d
阻抗三角形	343b	CAM	187a, 189f	EBCDIC 码	125a , 68e
阻尼型分压器	397c , 138c	CAPP	190a	ECL	4b, 283c
阻燃材料	397c	CAQ	191c	EEPROM	4c
组合测量	74f	CAT	188a	EGA	289e
组合电路	397e	CCD	290b, 302f	EPROM	4c
组合函数	397e	C-DTE	138d	ESA—IRS	271f
组合逻辑	397e	CG	228c	FDDI	151f
组合逻辑电路	398b	CGA	289e	FFT	239b
最大磁化率	55d	CGS 电磁制	104f	FMS	190c
最大漏极电流	223c	CGS 静电制	104e	FORTRAN 语言	127a , 40c
最大需量表	398b	CGSE 制	104e	FP 系统	39d
最短时间控制	398f	CGSM 制	104f	FTAM	228c
最小二乘估计	399c	CIMS	187b, 189f, 191d	GPSS 语言	40e, 188c
最小方差估计	400a	CISC	151e, 381e	GPSSF3	188c
最小方差控制	396d	CMOS 集成逻辑门	28a	HCC	191a
最小相位传递函数	400c	CNC	190b	HTL	149b
最小相位系统	400c	COBOL 语言	28e , 40d	Huffman 树	292e
最优控制	400c	CODASYL	294f	I 控制	238a
最优性原理	117a	cos φ	154f	IC	191b
作业管理	31b	CPM	31c	IOA	3b
左手定则	401d , 54b	CRT	197b	IPL	277a
左移移位寄存器	360a	CSMP	188c	ISDN	195a
		CSSL	188c	JK 触发器	173a
		D 触发器	64a	JTM	228c
50% 冲击放电电压	2a	D/A	197b	KB	221b
ACSL	188c	DB	221b	KCL	178c
A/D	197b	DCE	228c	KVL	178e
ADA 语言	40f	DDC	190f	LAN	218e
ALGOL 60 算法语言	40d	DDL	296f	LC 正弦波振荡器	241a
ALU	196e, 370f, 389a	DENDRAL	390e	LISP 语言	40e, 277a
APL/360 语言	40e	DIALOG	271f	LRU	353a
APT 语言	40c, 190d	DIS	3b	m 相电源的中性点	124a
ASCII 码	1a , 68b	DMA	197c, 291b	MACSYMA	390e
BASIC 语言	2c , 40d	DML	296f	MB	221b
BCD 码	2c , 68d	DMS	221c	MCGA	289e
BCS 理论	37b	DNC	190b	Metglas 2605SC 合金	132f
BII	228c	DOA	3b	MHS	228c
BISDN	194d, 195a	DONAMO	188c	MIMD	186e

MIPS	151e	PCB	30e	SIMULA	40e,188c
MIS	3b,191b	PCL	231a	SISD	186d
MKSA 制	105a	PD 控制	238d	SLAM	188c
MOS	222c	P-DTE	138d	SQL	297a
MYCIN	390e	pf	154f	SRAM	4a
N 沟道耗尽型 MOS 管	223b	PI 控制	238b	T 触发器	309a
N 沟道增强型 MOS 管	222c	PID 控制	238e	TCAM	321f
N 型半导体	3e	PMOS 集成逻辑门	264a	TEM	48c
Nimal 合金	330c	PN 结	4f	TI	69b
Niresist 合金	330c	PROLOG 语言	40f	TP	228c
NMOS 集成逻辑门	257a	PROM	4c	TTL	309c
No mag 合金	330c	QTAM	321f	TTL 与非门	309c
NP 完全问题	306d	RAM	4a	UPS	187f
NRU	353a	RC 正弦波振荡器	273a	VGA	289e
OCL	153b	RDA	228c	VT	228c
ORBIT	271f	RISC	151e,186a,381f	VTAM	321f
OS	30b	ROM	4b	WS	353b
OSI	227f	SAGE	193c	WS-CLOCK	353b
OTL	153b	SCC	190f	x-y 记录仪	335a
P 沟道 MOS 管	223b	SCF	228d	Z 变换法	372a
P 控制	237f	SCR	211c	Z 传递函数	373b
P 型半导体	3e	SI 制	105a	γ 过程	310d
PAD	138d	SIMAN	188c	δ 函数	44b
PASCAL 语言	264a,40e	SIMD	186e	n 型等效电路	125f
PC	231a	SIMSCRIPT	188c	T 型等效电路	125f